

大AI時代的中小學教育革新： 課程、教學與評量

財團法人黃昆輝教授教育基金會
2025教育政策研討會

綜合建言

主編：黃昆輝

2025教育政策研討會綜合建言編撰小組
2026年2月

大 AI 時代的中小學教育革新： 課程、教學與評量

2025 教育政策研討會綜合建言

財團法人黃昆輝教授教育基金會

目次

壹、前言	1
貳、問題分析	3
參、政策建議	7
肆、結語	14
伍、附錄	
附錄一：財團法人黃昆輝教授教育基金會 2025 教育政策 研討會議程	16
附錄二：英格·莫勒納爾教授主題演講稿	18

壹、前言

財團法人黃昆輝教授教育基金會（以下簡稱本會）自 2016 年成立以來，秉持「公義」與「卓越」的核心價值，辦理各級學校獎助學金、大愛教師獎，以及各項專題研究與學術研討活動。歷年舉辦教育政策研討會，均以重要且受社會重視的教育政策議題為研討主題，諸如：技職教育與人才培育（2017）、教育政策與經濟發展（2018）、邁向公義與卓越（2019）、新世代新教育（2020）、雙語教育的問題與對策（2021）、社會變遷中的人才培育（2022）、終身教育與學習社會（2023）、因材施教（2024）等。

本會「2025 教育政策研討會」以「大 AI 時代的中小學教育革新：課程、教學與評量」為主題，於 2025 年 11 月 22 日假台北市新生南路公務人力發展學院福華國際文教會館前瞻廳舉行。會議由本會董事長黃昆輝教授主持開幕，國家科學及技術委員會林法正副主任委員蒞臨致詞。一天的議程，除了邀請荷蘭學者 Inge Molenaar 教授，就「共演化的社會技術系統：學習者、教師與人工智慧技術」（A co-evolving socio-technical system: Learners, Teachers and AI Technologies）相關的學術理念與實務做法，進行專題演講外，在「子題研討」部分，包含「AI 應用於中小學課程革新」、「AI 應用於中小學教學革新」，以及「AI 應用於中小學評量革新」的探討與闡述。最後還有「圓桌論壇」，由國內外學者交叉討論「AI 時代師資培育的教育革新」。請參見附錄一：

「財團法人黃昆輝教授教育基金會 2025 教育政策國際研討會會議議程」。

另外，荷蘭學者 Molenaar 教授在演講中指出，為回應 AI 時代所帶來的挑戰並推動教育轉型，發展創新教學實踐至關重要；同時，教育 AI 的推動必須建立在「學習者、教師與 AI 技術共同演化的社會技術系統」之上。在 AI 無法取代教師、而教師須於課堂中扮演協調與引導 AI 技術使用角色的前提下，教師如何融入教學創新，並促進學生自我調節學習能力（Self-Regulated Learning, SRL）的發展，已成為各國推動教育 AI 時不可忽視的核心課題。

基於此一理念，荷蘭成立「國家教育實驗室 AI」（National Education Lab AI, NOLAI），致力於與小學、中學、科學家以及企業家共同開發創新的人工智慧教育實踐，並透過共創（co-creation）與共實施（co-implementation）計畫推動跨界合作。在此過程中，教師與教育專業人員能積極參與創新技術的設計、開發與實施，使課堂教學實踐得以與人工智慧技術的設計與運作緊密結合。過去數十年間，荷蘭已透過此一模式，在學校情境中成功發展並落實多項創新教學實踐，逐步累積領域專業知識與技能。

同時，NOLAI 持續在共創與共實施計畫中，精進不同類型的適應性學習設計及其組合，強調在人與 AI 的混合協作（Hybrid Human-AI Collaboration）中，AI 的應用不應僅使學習者被動適應系統，而應引導其成為更具主動性與自主性的「適應型學習

者」，能依自身需求調整學習內容與進度。

此外，為協助教師發展新的專業角色，NOLAI 亦將教師納入共設計實踐，作為專業發展的重要一環。透過參與教育 AI 創新的共創與共實施歷程，教師得以在課堂中有效扮演與 AI 協同的關鍵角色，並有意識地設計教學活動，以培養學生的自我調節學習能力，回應 AI 時代下教與學型態轉變的需求。

上述論述，對於「教育 AI」理解和思維都很有啟發性，請參見附錄二：「2025 年教育政策國際研討會主題演講重點摘述」。

對此，本會綜整及歸納「大 AI 時代的中小學教師革新：課程、教學與評量」專案研究報告、「擁抱 AI，中小學教育如何創新？」焦點座談，以及教育政策研討會「大 AI 時代的中小學教育革新：課程、教學與評量」等專家意見及研究成果後，提出以下問題分析與綜合建言。

貳、問題分析

一、缺乏國家層級的教育 AI 總體規劃藍圖及跨部會協調機制

世界各國瞭解到正確善用 AI 能大幅度改善學生學習並提升教育成效，許多國家陸續透過跨部會共商合作，提出國家級教育 AI 政策的總體規劃。相較於其他先進國家，臺灣至今尚未提出「國家級教育 AI 整體規劃藍圖」，且缺乏統一方向與跨部會協

調機制下，各部會多以自身需求各自推動相關政策，導致教育 AI 政策呈現分散、不連貫，甚至彼此重疊的現象。

二、載具不足以支持中小學教育 AI 的推動

數位基礎設施是推動數位學習的重要關鍵。雖然在《教育部中小學數位學習精進方案》的努力下，目前全臺中小學的載具配備已達到「每 3 名學生配 1 台載具」的水準，但仍不足以支撐教育 AI 的全面實施。根據黃昆輝教授教育基金會 2025 年專案研究調查顯示，多數縣市普遍認為，要真正落實教育 AI，必須達成「一人一載具（1：1）」的基本配備。由此可見，現階段中小學的載具數量仍有明顯缺口，這正是國家推動教育 AI 時必須優先解決的核心問題。

三、尚未建置師生 AI 素養架構

目前全球已有超過 50 個國家，參考聯合國教育、科學及文化組織（United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO）所提出的《師生 AI 素養¹》架構，陸續完成或正在研發符合自己國家的 AI 素養架構。同時，經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and

¹ UNESCO 發布教師 AI 素養架構（AI competency framework for teacher）和學生 AI 素養架構（AI competency framework for students）

Development, OECD) 也已於 2025 年發布《中小學生 AI 素養架構》(Empowering Learners for the Age of AI)，並預計作為 2029 年國際學生能力評量計畫 (Programme for International Student Assessment, PISA) 中「媒體與人工智慧素養」(Media and Artificial Intelligence Literacy, MAIL) 評量的核心基礎。在此國際趨勢下，臺灣目前仍尚未建置中小學生與教師的 AI 素養架構，與國際發展有所落差。

四、缺乏教師教育 AI 能力認證制度及知行落差

全球在運用生成式 AI 促進教師專業發展，普遍以提供「個人化教師專業發展路徑」和「微型專業成長認證」為重要策略。相較之下，雖然在現行教師數位教學增能培訓架構中，已開設生成式 AI 融入教學相關增能課程（如 B3 數位教學指引培力工作坊、B5 生成式 AI 融入教學工作坊），但現階段僅針對「數位學習講師」設計正式的認證制度，對一般教師而言，尚未建立教育 AI 能力的分級標準與認證機制。此外，根據黃昆輝教授教育基金會 2025 年相關調查結果顯示，中小學教師應用 AI 於教學和專業發展不足，存在知行落差，最需強化的能力包含：應用 AI 輔助備課和統整教材、應用 AI 輔助因材施教及應用 AI 輔助評量、回饋和分析學習數據等。這些結果顯示，臺灣在建立教育 AI 能力增能與認證制度仍有推動空間，教師在教育 AI 知能的培力亦需進一步強化。

五、教育 AI 增能缺乏跨界合作

根據黃昆輝教授教育基金會 2025 年相關調查結果顯示，「師培教育 AI 增能與教學投入」仍有進一步銜接與深化的空間，且師培大學在教材與資源的整備，尚待逐步充實，以利更有系統性地培育師資生及賦能師培教授。而國際上多個國家已投入大量經費，積極促進師資培育機構、地方教育行政單位、中小學及教育科技產業之間的跨界合作，以全面培養師資生教育 AI 能力。相較之下，臺灣雖已有小規模的師資生 AI 增能專案作為基礎，但規模有限。未來如何將這些專案擴大、制度化，並推動更全面的教育 AI 師資培育體系，將是必須持續努力與規劃的方向。

六、中小學教師應用 AI 普及度偏低且未能廣泛應用於各領域

根據黃昆輝教授教育基金會「大 AI 時代的中小學教師革新：課程、教學與評量」專案研究報告結果顯示，僅約四成中小學有超過半數教師使用 AI 備課，約三成六有超過半數教師使用 AI 協助教學，顯示應用 AI 程度有限。同時，中小學教師未能在各領域課程廣泛應用 AI，中小學教師於語文領域應用 AI 明顯高於數學、科技、自然科學及其他科目，凸顯中小學教師未能廣泛應用 AI 於各領域課程。

參、對策建議

針對上述問題，要有效推動「教育 AI」的實踐，除需要由中央提出「國家級」教育 AI 政策、統整並引導各級教育和地方政府的投入外，更需進行政策架構的整體規劃，包括：教育 AI 政策藍圖與運作機制、充實數位學習基礎設施、發展學生、教師和校長 AI 素養架構、建置教師教育 AI 專業發展系統，及強化教育 AI 師資培育等面向。研議具體建議如下，謹供參考：

一、加強中小學應用 AI 於課程、教學和評量

- (一) 在課堂中導入數位教學指引：建議在課堂中導入數位教學指引，協助教師系統性地運用 AI 工具進行課程設計與教學實施。教師可與 AI 共同規劃課程內容與學習活動；同時，透過 AI 助教產製教材、分析班級學習及學生個別學習弱點，並即時提供教學調整與改進建議，提升教師適性教學，改善學生學習。
- (二) 強化教師 AI-PACK 能力：建議在校內研習、教師社群及公開觀議課等多元增能措施，系統性地提升教師的 AI-PACK 能力，使教師逐步具備 AI 基礎知能、引導學生運用 AI 進行學習的能力、利用 AI 輔助課程、教學和評量等能力。

- (三) 發展各領域 AI 導入模式：建議在各學科／領域教師專業增能研習中，系統性發展具體可行的 AI 導入模式，依不同學科特性彙整 AI 應用於課程設計、教學實施與學習評量的實務做法與案例。透過示範課程、教學流程範例與評量工具設計，協助各學科／領域教師理解「如何用、何時用、用到什麼程度」的 AI 應用原則，以促進 AI 在不同學科與領域中的普及與有效運用，進而擴大學生的適性學習。

二、充實數位學習基礎設施

- (一) 逐年實現生生有平板：為普及教育 AI，在八成四縣市認為載具與學生配置需提升至 1：1 的情況下，建議逐年編列專款經費，考量載具管理與維護所需成本，提供載具及相關設備，逐年實現生生有平板，強化無線網路及智慧網路管理的支援，以支持教育 AI 的普及。
- (二) 研發國家級教育 AI 工具：許多研究報告指出，教師教學或學生學習如直接使用原生的大語言模型，例如 ChatGPT 或 Gemini 等其成效不彰，且容易造成學生的認知怠惰，教學或學習上應使用以教育為目的 AI 工具（教育 AI），方能有效提升教學與學習成效，建議在國家級教育 AI 研究中心，帶頭示範研發並提供

教育 AI 工具給全國師生，進而引領數位學習產業的研發方向。

三、發展學生、教師和校長 AI 素養架構

- (一) 儘速研擬我國教師 AI 素養架構：在聯合國教科文組織（UNESCO）或經濟合作暨發展組織（OECD）已發布教師 AI 素養架構或能力指標下，建議依據我國的國情與數位學習推動情形，擬定我國教師 AI 素養架構，作為培養職前和在職教師 AI 素養的目標。
- (二) 率先提出校長 AI 素養架構：AI 時代校長也應具備 AI 基本素養，並引領教師提升應用 AI 進行教學，營造教育 AI 學習型組織文化，提供資源支持與專業對話機制，鼓勵教師探索應用 AI 教學法與教學實踐，UNESCO 並未發表校長的 AI 素養架構，建議我國可以領先提出。
- (三) 將學生 AI 素養架構納入課綱或指引手冊：建議將學生 AI 素養納入課綱或指引手冊，或提高資訊科技課程中有關 AI 素養內涵的比例，確保每位學生具備 AI 素養，或應用 AI 於學習的能力。

四、建置教師教育 AI 專業發展系統

- (一) 建立教師教育 AI 認證機制：建議可透過 AI 學習系統提供教師個人化增能途徑，結合教育 AI 教學資源與交流平臺，使教師能依自身能力、興趣及需求選擇適合的專業成長路徑，並提供認證機制以驗證學習成果。
- (二) 讓教師成為課堂關鍵協調者：在規劃教育 AI 教師增能培訓時，建議著重協助教師掌握如何在課程設計、教學實施與學習評量中有效運用 AI 工具，並達成人機協作的最佳平衡。同時，透過適切的教學設計與 AI 支援，促進學生發展自主學習能力。
- (三) 建置中小學教育 AI 增能輔導系統
 1. 推動手把手應用 AI 於教學到校陪伴：許多教師僅參加研習活動可能還是無法順利應用 AI 於教學，因此建議可以提供有興趣有需求的教師，到校 AI 教學示範引導的服務。
 2. 縣市教育局處各領域輔導團強化成員 AI 素養：輔導團為教師教學提升與在地課程發展的核心角色，建議應優先強化輔導團成員 AI 素養，使其具備 AI 的正確使用與倫理素養，熟悉 AI 導入領域教學模式後，進而幫助在地中小學的教師在應用 AI 於課

程、教學和評量。

3. 建立教育 AI 教師社群：建議中央補助及鼓勵縣市及學校成立各領域 AI 導入教師社群，促進教師間 AI 共學，共同激發創意研發新的 AI 導入教學模式。
4. 擴大教師參與「教育 AI」公開觀議課：專案研究調查顯示中小學教師參與「教育 AI」專業發展活動不足以支撐普及「教育 AI」的需求，建議未來擴大中小學教師參與教育 AI 公開觀議課，以支持教育 AI 的落實。

五、強化教育 AI 師資培育

- (一) 促進跨界合作：建議以教育 AI 專業發展學校為基地，推動課程、教學與評量中教育 AI 的縱向與橫向研究與創新合作。不僅促進全臺師培大學間的橫向聯繫，也積極媒合在地師培大學（提供教育 AI 研究能量與專業技術）、教育科技產業（負責系統開發與商品化）、縣市政府（推動政策與資源挹注）、以及中小學與幼兒園（提供實際教學場域與需求回饋）的協作，使師資培育成果能精準對焦教學現場需求。
- (二) 進行教育 AI 教學法的創新、實驗和推廣：建議以縣市教育 AI 專業發展學校、適性教學學校、AI-PACK 計

畫研究基地學校等為平臺，結合在地師培大學，進行中小學和師培教育中教育 AI 教學法的研發、創新、實驗和推廣，激發師培教授和中小學教師應用 AI 於教學時的主體性與專業發展。

- (三) 強化職前師資培育課程導入 AI：建議提供資源與作法，幫助師培大學於職前師資培育課程中導入 AI 應用，讓未來的老師能夠在學時就學會如何應用 AI 於中小學教學中，未來就業時能無縫銜接。
- (四) 提供師資生個人化課程、教學與評量：建議依據師資生專長和基礎能力，利用 AI 學習系統、工具和軟體（如 AI 助教或 AI 家教）提供師資生個人化課程、教學與評量，並建立學生個人學習歷程檔案，追蹤及分析學習成果，作為未來優化師資培育課程和教學的依據。
- (五) 教師資格檢定納入教育 AI 或提高其在數位教學能力測驗比重：基於調查顯示七成五師培大學認為數位教學能力檢測有助於師資生教育 AI 能力的養成，建議在教師資格檢定納入教育 AI 相關知能測驗，或在數位教學能力檢測中增加教育 AI 的比重，進而確保師資生在未來教學現場具備應用 AI 於課程設計、教學實施與學習評量的能力。

六、成立國家級教育 AI 研究中心推展下列重點工作

- (一) 規劃國家級教育 AI 總體藍圖：建議規劃國家級教育 AI 總體藍圖，明確教育 AI 的願景、目標和政策主軸，使各級教育機構與地方政府在推動教育 AI 時，有清楚一致的政策依據與執行指引。
- (二) 啟動跨部會協作機制：盤點與協調不同部會在教育 AI 相關的法規、專案計畫、資源投入、推動進度等，確保教育 AI 推動過程中，技術、法制、人才培育與現場落實，均能一致規劃與同步推動。
- (三) 全面政策推廣：擴大教育 AI 政策宣導，使學生、家長、教師及其他社會大眾充分理解政策的目標、內容與預期效益，進而有效提升教育 AI 推動的支持度，降低實施過程中的疑慮與阻力。
- (四) 強化國家教育 AI 研究：採用「跨學研/政府/產業整合」模式，快速匯聚資源以強化國家教育 AI 研究，同時定期與各國推動教育 AI 研究中心進行交流，並開發可長期合作之國際夥伴，進而形塑具國際差異化的臺灣教育 AI 在地特色。
- (五) 形塑國家級品牌：我國在數位學習平臺建置、數位教材內容開發、教育大數據分析等方面，已展現出領先

亞洲其他國家的跡象。每年舉辦的數位學習論壇，也成為各國政府與國際專家交流與合作的重要平臺。建議基於上述基礎，進一步全面落實教育 AI，使「AI 賦能教育」成為臺灣具國際辨識度的國家級品牌。

肆、結語

綜上，臺灣在推動教育 AI 的過程中，面臨政策藍圖缺乏、基礎設施不足、AI 素養架構尚未建置、教師專業增能與認證制度不完整、師資培育跨界合作仍待深化，以及中小學應用 AI 不足等多重挑戰。然而，這些問題亦正凸顯出我國在教育 AI 發展上的龐大機會空間。面對 AI 對教育帶來的深刻變革，臺灣若能從國家層級著手，建立縱橫整合的教育 AI 發展藍圖、健全基礎建設、完善素養架構與專業培育體系，於中小學全面落實教育 AI，將有機會在亞洲地區的教育 AI 創新競逐中取得關鍵定位。

而教育 AI 的推動，並非單一政策即可達成，而是涉及法制、科技、人才培育、課程、教學、評量與跨界合作的整體工程。其中，教師專業發展是教育 AI 能否有效落實的關鍵核心，唯有中央政府、地方教育行政機關、師培大學、中小學現場以及教育科技產業都需共同協作，才能形成可持續發展的教育 AI 生態系，進而培養具備 AI 智慧素養與自主學習力的學生，並支持教師成為課堂應用 AI 的關鍵協調者，使學生適性學習普及化。教育 AI 不是未來式，而是現在進行式。臺灣若能掌握此契機，即可在全

球教育 AI 轉型浪潮中，從追隨者走向引領者，最終使臺灣的「AI 賦能教育」成為國際辨識度的國家級品牌。

伍、附錄

附錄一：財團法人黃昆輝教授教育基金會 2025 教育政策研討會
議程

大 AI 時代的中小學教育革新：課程、教學與評量研討會

11 月 22 日（星期六）		
8:30-9:00	30'	報到
9:00-9:20	20'	開幕式 主持人：黃昆輝董事長（黃昆輝教授教育基金會） 貴賓： 林法正副主任委員（國家科學及技術委員會） 朱俊彰常務次長（教育部）
9:20-10:20	60'	主題演講 主持人(10')：黃志芳董事長（中華民國對外貿易協會、外交部前部長） 演講人(50')： Prof. Inge Molenaar（Radboud University, Netherlands） 英格·莫勒納爾教授（荷蘭拉德堡德大學） 題目：A co-evolving socio-technical system : Learners, Teachers and AI Technologies （共演化的社會技術系統:學習者、教師與人工智慧技術）
10:20-10:40	20'	茶敘
10:40-12:00	80'	議題研討(1) 主題：AI 應用於中小學課程革新 主持人(10')：朱俊彰常務次長（教育部） 引言人(15')：林政逸教授（國立臺中教育大學、高等教育經營管理碩士學位學程主任） 與談人(10')：陳浩然特聘教授（國立臺灣師範大學英語學系） 與談人(10')：洪詠善研究員（國家教育研究院課程及教學研究中心） 與談人(10')：張啟中組長（國立中興大學附屬高級中學資訊媒體組）

12:00–13:00	60'	午餐休息
13:00–14:20	80'	<p>議題研討(2)</p> <p>主題：AI 應用於中小學教學革新</p> <p>主持人(10')：李隆盛榮譽講座教授（國立暨南國際大學教育學院學士班、考選部前政務次長、國立聯合大學及中臺科技大學前校長）</p> <p>引言人(15')：郭伯臣校長（國立臺中教育大學）</p> <p>與談人(10')：吳穎泐教授（國立中央大學網路學習科技研究所、教育部資訊及科技教育司司長）</p> <p>與談人(10')：張明文局長（新北市政府教育局）</p> <p>與談人(10')：楊宗榮主任（臺中市豐原區翁子國民小學）</p>
14:20–15:40	80'	<p>議題研討(3)</p> <p>主題：AI 應用於中小學評量革新</p> <p>主持人(10')：鄭中平副教授（國立成功大學心理學系、考選部測驗研究中心主任、考選部前政務次長）</p> <p>引言人(15')：李政軒教授（國立臺中教育大學教育資訊與測驗統計研究所、校務中心主任）</p> <p>與談人(10')：曾建銘研究員（國家教育研究院測驗及評量研究中心）</p> <p>與談人(10')：林素微教授（國立臺南大學教育學系、教務長）</p> <p>與談人(10')：蘇漢哲老師（新竹市立育賢國民中學）</p>
15:40–16:00	20'	茶敘
16:00–17:30	90'	<p>圓桌論壇</p> <p>主題：AI 時代師資培育的教育革新</p> <p>主持人(10')：王淑娟副司長（教育部師資培育及藝術教育司）</p> <p>討論人(10')：宋曜廷副校長（國立臺灣師範大學）</p> <p>討論人(10')：劉遠楨副校長（國立臺北教育大學）</p> <p>討論人(10')：陳惠萍校長（國立臺南大學）</p> <p>討論人(10')：鄭新輝局長（臺南市政府教育局）</p> <p>討論人(10')：Prof. Inge Molenaar（Radboud University, Netherlands）</p> <p>英格·莫勒納爾教授（荷蘭拉德堡德大學）</p>
17:30–17:40	10'	閉幕式(10')：黃昆輝董事長（黃昆輝教授教育基金會）

附錄二：英格·莫勒納爾教授主題演講稿

共演化的社會技術系統：學習者、教師與 人工智慧技術

英格·莫勒納爾教授（荷蘭拉德堡德大學）

首先，我想感謝各位給予我在這場重要會議上發表演講的榮譽，並邀請我討論人工智慧在 K-12 教育及師資培育中的應用。本次會議的主題「在人工智慧時代革新 K-12 教育：課程、教學與評量」與我作為荷蘭國家教育實驗室人工智慧研究總監的工作高度契合，我非常期待與各位分享我的想法。

此外，我想對臺灣在教育中應用人工智慧的策略與願景表示讚賞，這在《推動中小學數位學習精進方案（2022-2025）》以及「教育部因材網（TALP）」（Kuo, Chang & Lee, 2023）中均有體現。這些工作令人印象深刻，將教育的未來願景、創新的教學與教學實踐方法，以及最先進的技術基礎設施有機結合。世界上許多國家都在努力整合這些元素，而臺灣在這方面則展現了創新的典範。

在本次演講中，我將探討人工智慧在教育中的現有應用，並聚焦於近期發展，以提供對未來發展的參考。目前全球關於人工智慧與教育的討論，可從兩個角度來觀察：社會層面與教育層面。

社會層面的討論關注的是，作為一種系統性技術，人工智慧

在我們社會中興起所帶來的挑戰（WRR, 2021；OECD, 2025）。這對學習者在人工智慧時代的生活與學習能力發展提出了新的要求。全球關注的一個核心問題是：「年輕學習者在人工智慧時代需要具備哪些能力？」（OECD, 2025；Schwartz & Molenaar, 2023）。多項國際指南指出，學習者需要掌握的核心基礎領域知識與技能，包括閱讀、寫作與數學；同時也需要培養通用技能與能力，如創造力、問題解決能力、人工智慧素養、協作能力以及自我調節學習能力。所有這些技能都被認為對學生在以人工智慧為基礎的社會中學習、生活及發展自身才能至關重要（CELLA, 2021）。

歷史證據顯示，系統性技術對整個社會，尤其是教育系統施加了壓力。過去，各國政府的應對方式通常是擴展並創新正式教育（Goldin & Katz, 2018）。今天，我們同樣面臨如何有效回應這些挑戰的問題。在本次主題演講中，我想強調學習者需要發展基礎領域知識，同時具備自我調節學習的能力，即使在使用人工智慧技術學習時亦然。這些技能將使年輕學習者能夠靈活地適應不斷變化的社會。

對人工智慧作為系統性技術所帶來的社會影響的回應，與教育視角密切相關。人工智慧驅動的技術為改善教育實踐提供了豐富的機會，例如個人化教育、提升對學習者的回饋、優化練習軌跡，以及使課程更符合個人及班級需求（Lin et al., 2024；Kou et al., 2025；Holmes & Tuomi, 2022；Molenaar, 2022）。然而，將我們對學習的科學知識與人工智慧技術設計相結合、有效地促進教

師專業成長、並在全球學校中推動系統性、創新及變革性的教育實踐，仍面臨挑戰。這要求我們對人工智慧技術在支持學生學習與教師教學中的角色進行謹慎考量。人與 AI 的協作應被視為一個複雜的社會技術系統，需要經過精心的設計、開發和實施過程，才能發揮其全部潛力。世界各地的人工智慧與教育實驗室及計畫，已針對這些社會及教育挑戰提出了不同的應對方案（Molenaar & Sleegers, 2023）。今天，我很高興能夠介紹臺灣與荷蘭方法之間的聯繫，並概述它們如何應對在人工智慧時代裝備年輕學習者所需技能的挑戰。

在荷蘭，我們透過國家教育人工智慧實驗室（National Education Lab AI）來應對這些挑戰。該實驗室致力於與小學和中學、科學家以及企業家共同開發創新的人工智慧教育實踐，並在共創與共實施的計畫中推動合作。透過這種方式，教師與教育專業人員能積極參與新型人工智慧創新技術的設計、開發與實施。這種方法的核心在於，教師在課堂中的教學與教學實踐，能與人工智慧技術的設計與運作無縫連結。我們的目標是發展創新的教育實踐，實質上轉型教育系統，使其能夠準備迎接人工智慧時代的挑戰¹。

在本次演講中，我將討論我們對人工智慧作為系統技術對教育系統所帶來的社會與教育挑戰的關鍵應對要素。我會引用國家教育人工智慧實驗室（NOLAI）項目的案例，並希望能與臺灣的

¹ www.nolai.nl

實例連結，為未來的合作奠定基礎。

我的演講分為兩個主要部分：首先，我將聚焦於適性學習系統如何支持學習者的領域知識發展。我將深入闡述，教師在課堂上策略性地應用這些適性技術時，所扮演的關鍵角色。特別是，將人工智慧功能與教師的教學法與教學實踐對齊是關鍵。

第二部分，我將強調在人工智慧技術輔助下自我調控學習技能的重要性及其發展，並凸顯教師與技術的協同作用。在這一部分，重點是從「適性學習」過渡到能主動驅動自己學習過程的「適性學習者」。最後，我將進一步說明理解人工智慧如何在教育中補充並增強人類能力的重要性。

學習與人工智慧：從適性學習系統到適性學習者

如同前述社會性挑戰所指出，在人工智慧時代，優化年輕學習者的知識與技能是一個多面向的課題。學習者不僅需要領域專業知識，例如數學、閱讀與寫作，也需要發展一般性技能，例如自我調控學習技能。雖然領域知識與通用技能彼此互相強化，但它們也需要不同的教學與課程設計方式來培養。這同樣反映在人工智慧技術的設計上，需要針對不同目標採取差異化的方法。

領域知識發展與適性學習

在過去十年間，越來越多證據顯示，領域專業技能可以透過適性學習技術（Adaptive Learning Technologies, ALTs）和智慧輔

導系統 (Intelligent Tutoring Systems, ITS) 來發展 (Baker, 2016 ; Kulik & Fletcher, 2016) 。這些系統會根據學習者的個別需求進行調整，以優化領域學習。這種個性化可針對學習步驟、任務以及課程層級進行適應。傳統上，ITS 系統結合課程層級的適應性，幫助學生透過選擇適當的學習目標來達成精熟，同時結合步驟層級的適應性以矯正誤解。雖然此方法對於結構清楚且答案明確的領域 (如數學) 被證明有效，但系統開發過程勞動密集且成本高昂。此外，教師在 ITS 中的角色直到最近才受到研究更多關注。研究結果顯示，積極的教師角色能提升 ITS 的效能，且這一研究方向仍在發展中 (Aleven et al., 2023) 。

這與荷蘭適性學習技術 (Adaptive Learning Technologies, ALT) 的發展相呼應，這些技術在 ALT 與教師之間設計了明確的任務分工。基於直接教學模式 (Direct Instruction Model) (Gersten, Keating & Becker, 1988) ，教師與 AI 技術共同執行直接教學循環 (Cijvat et al., 2022 ; Molenaar, 2024 ; Kessel et al., 2025) 。教師主導全班層級的活動，包括介紹課程目標與學習目標、喚起學生的先備知識、進行教學講授，以及統籌全班練習。學習者的個別練習則由 ALT 指導，系統會選擇適合的題目並提供即時回饋。這種任務層級的適應性會根據學生知識的估算以及適當的成功概率選擇題目，確保學生在其近側發展區 (zone of proximal development) 內進行練習。同時，教師可透過教師儀表板了解班級進度，並針對需要額外支持的學習者提供精準的教學與回饋。

教師在適性學習中的重要角色

過去十年的課堂適性學習技術（ALT）研究提供了豐富的見解，顯示這些技術如何正向影響學生學習（Mooij et al., submitted），同時也對教師的教學實踐產生影響。研究指出，ALT 能支持教師、改變他們的教學行為，並促進教師專業化（Knoop-van Campen et al., 2021；Molenaar et al., 2020；Molenaar et al., 2022；Mooij et al., 2025）。教師儀表板可提供學生當前與預測的學習進度及知識發展資訊，教師可在課堂中以及備課時使用這些資訊（Molenaar et al., 2018；Kessel et al., 2025）。雖然教師使用 ALT 的方式存在很大差異（van Leeuwen et al., 2022），研究已顯示，隨著 ALT 的使用，教師的教學與教學策略會隨時間發生變化。課堂結構有所調整，除了傳統授課外，更多重複練習課程受到重視，以確保學生達到學習目標的掌握程度。教師的回饋策略也發生變化，他們提供更具針對性且多樣化的回饋，並針對不同學生給予不同回饋（Molenaar & Knoop-van Campen, 2018；Knoop-van Campen & Molenaar, 2020；Knoop-van Campen, Wise & Molenaar, 2021）。教師儀表板增進了教師對學習者進度的知識與洞察，使教師能提供更適切的回饋。最後，ALT 的引入也促進了教師在適性與分化教學實踐上的專業成長（Cijvat et al., 2025）。

這十年的研究突顯了理解教師、學習者與 AI 技術之間的社會技術系統（socio-technical system）的重要性（Cukurova et al., 2018；2025）。因此，需要關注教師與 AI 系統結合的有效性，

以及不同組成部分如何互動（Ley et al., 2025）。雖然已有證據表明教師與 AI 的結合比單純使用 AI 技術更有效（Aleven et al., 2023），我們的研究顯示教師實踐與 AI 技術互相影響，進而產生新的教學實踐（Molenaar, 2024）。然而，如何設計有效的教師與 AI 協作，以及如何設計、開發與實施這種協作，仍然缺乏充分的研究與實務經驗。

適性學習研究與發展的新方向

在領域知識層面上，出現了一些有趣的新發展。鑑於適應性存在不同的實施方式，荷蘭的適性學習系統（ALT）正逐步向更先進的步驟（step）、任務（task）與課程（curriculum）適應形式發展。

在步驟適應（step adaptivity）方面，NOLAI 的多個共創項目致力於在學習過程中測量並回應學生的概念誤解。ALT 中的任務適應（task adaptivity）需要在挑戰學生與提供成功體驗之間取得平衡，以確保學生能進行有意識的練習。這種平衡會影響知識發展、學習者的情感動機與元認知調節，因此需要進一步研究（Knoop-van Campen et al., submitted；Ring et al., submitted；Kooi et al., submitted）。最後，荷蘭的適性學習系統也納入了更先進的課程適應（curriculum adaptivity）形式。系統基於歷史數據結合班級與學生層級的預測分析，向教師提供特定班級所需的授課與重複練習課程數量建議（Vermeire et al., 2025）。透過這種方式，

系統協助教師在課程規劃中優化班級與個別學生的需求。

這種新型的適應性形式預期將影響教師與 AI 技術之間的任務分工，因此我們在新的共實施計畫中將其落實。該計畫由大型校區教師、NOLAI 科學家與 Snappet² 技術開發者密切合作執行。計畫分為共設計階段（3 年；共 9 個循環），研究教師與 AI 的合作方式。目標是了解教師在課堂中使用 AI 技術時，其教學與教學策略如何變化，研究這對教師與 AI 的任務分工意味著什麼，以及教師如何在課堂中使用這項技術。

AI 模型的運作以及教師與 AI 之間的介面，會在短期 6 週循環中進行分析，參與教師數量逐漸增加。資深教師在訓練與支持新教師方面發揮關鍵作用。教師在日常教學中測試 AI 模型的新功能與改進。研究人員觀察教師教學策略的變化，以及這如何影響學生學習。技術設計師則根據回饋持續監控技術並迭代開發路線。每個循環以改進會議為中心，不同利害關係人討論 AI 技術、教師教學策略及專業發展所需的改進與進展。

透過這些循環改進，AI 技術逐步成熟，我們重新設計教師與 AI 之間的任務分工與互動，以轉化教育實踐。例如，在第二個循環中，教師指出他們需要更清楚理解 AI 為何為不同學生建議不同活動。對演算法運作的理解提升了教師的信任，並改變了課堂使用方式。因此，該計畫旨在揭示教師特徵（如知識與對技術的信任）與教師使用 ALT 及 AI 技術支持學生學習之間的複雜互動。

² www.snappet.org，荷蘭最常使用的適性學習技術

總結來說，過去幾十年中，創新教學實踐已在學校中成功開發並實施，以建立領域專業知識與技能。不同的 AI 技術採取了不同的適應性方式。雖然大多數系統專注於單一適應性類型，但越來越多系統開始結合不同層級的適應性。然而，單一適性技術中不同層級的互動仍具挑戰性（Molenaar, 2023）。NOLAI 的共創與共實施計畫致力於改進不同類型的適應性及其組合。

此外，對教學實踐的影響在這些計畫中至關重要，透過協同設計與協同調度提高教師自主性。我們重新將 AI 視為教育中的社會技術系統（socio-technical system），而非孤立開發、實施並以其效果評估的技術。

我很高興看到這與臺灣的做法有相似之處，我相信雙方有充足空間互相學習，共同利用 AI 技術在適性學習上的進步，進一步發展學生的領域知識。接下來，我將轉向討論通用技能，特別是自我調節學習技能的發展。

通用技能：發展自我調節學習技能，培養適應性學習者

除了前面提到的發展領域知識的方法之外，發展通用技能同樣重要。問題解決、創造力以及 AI 素養都是關鍵，但在本次演講中，我將重點放在學生的自我調節學習（Self-Regulated Learning, SRL）技能上。這些技能需要特殊關注，才能通過量身定制的教學與支持得到有效發展（Azevedo & Gasevic, 2019；Jarvela et al., 2024）。我們知道，在小學與中學階段，這些技能

往往缺乏系統化的教學，而學者們也強調需要全面的教學方法來培養學生的 SRL 技能（Dignath et al., 2023）。SRL 教學的重要元素包括：教師以直接教學方式明示認知與元認知策略使用的示範，以及創建能促使學生自主控制和監控學習的學習環境（Dignath et al., 2024）。

AI 技術在創建這種促進性學習環境中可發揮重要作用，能夠加強教師與學生的 SRL 技能發展，這一點在臺灣的全國性計畫中也有明確證據（Kou et al., 2025）。

同時，現行的適性學習方法可能會削弱學生成為適應性學習者的能力（Molenaar, 2022）。隨著學習環境越來越多地適應學生的個別需求，學生自主控制與監控學習的機會減少。在這種情況下，計畫與監控等元認知活動被技術所取代。學生不再需要主動參與元認知活動，學生將調節功能轉嫁到技術上，從而降低了學生發展 SRL 技能的機會（Molenaar et al., 2022）。

因此，我強調在設計學習環境時，需仔細考量如何在調節層面上給予學生適當挑戰，以練習這些技能。事實上，當 AI 技術在設計時考慮到這些需求，它能幫助學生發展 SRL 技能。以臺灣的 TALP 學習環境為例，它為學生提供了練習自我調節的工具（Kou et al., 2025）。與期望 SRL 對未來學習與領域知識學習均具有重要作用一致（Azevedo & Gasevic, 2019；Molenaar, Mooij et al., 2025），郭伯臣教授的大型研究提供了獨特證據，說明透過技術支持的 SRL 能夠雙向增進學生的數學學習（Kou et al., 2025）。

使用 FLORA 引擎對 SRL 的創新測量與支持

確實，AI 提供了強大的機會來改進自我調節學習（SRL）技能的測量、支持與發展。在測量方面，一個顯著的優勢是能夠詳細追蹤學習者的學習過程（Fan et al., 2022）。可收集的多種數據流，如日誌檔（logfiles）、滑鼠與鍵盤點擊等，使我們能夠細緻地捕捉 SRL 活動。這些即時數據可透過 AI 技術整合與分析，從而提供對學習者自我調節學習活動的新見解。在實驗室環境中進行作文任務時，我們收集了多模態數據，包括日誌數據、鍵盤輸入、滑鼠點擊以及眼動軌跡，以描繪學習者的 SRL 過程（Fan et al., 2023）。同時，要求學習者進行「思考大聲說」（think-aloud），這是一種廣泛認可的測量 SRL 活動的方法（Bannert et al., 2009；Molenaar et al., 2011）。

尤其是將多種數據結合成可指示不同 SRL 活動的模式，已被證明是一種有效方法。這些模式透過多個高等教育（van der Graaf, 2023）和中學教育（Lamsa et al., 2025）研究中的思考大聲法得到驗證，並成為新型支持工具的基礎。參考 Winne 與 Hadwin（1998）的 COPES 模型——將 SRL 過程分為四個階段——設計了不同的個性化支架（personalized scaffolds）（van der Graaf et al., 2023；Lyn et al., 2025）。在寫作教育的情境中，我們發現學習者在任務開始時進行定位（orientation）以及在閱讀和寫作過程中進行監控（monitoring）時獲益顯著（van der Graaf et al., 2023）。因此，在學習過程中，學習者會收到「支

架」(scaffolds)，即結構化的指導，用於執行特定的 SRL 活動 (Molenaar et al., 2012; van der Graaf et al., 2023)。在「合適的」時刻，學習者會收到調節提示，例如當一位學習者在最初 10 分鐘內未閱讀任務指示時，會提供定位支架。透過 FLORA 引擎測量 SRL，可實現個性化支架——針對性、情境特定且以使用者為中心的支持，從而增加學習者在學習過程中執行監控活動的次數 (Lim et al., 2023)。

學習者與教師使用的 SRL 儀表板

此外，這些測量結果也可作為學習者使用的儀表板 (learner-facing dashboards) 的基礎，使學習者能反思自我調節學習 (SRL) (van der West et al. submitted)。自我調節學習是一項複雜技能，學習者需要結合 SRL 知識 (了解計畫是什麼)、SRL 技能 (能夠制定計畫) 以及條件性知識 (知道在學習過程中何時使用這項技能，例如：我何時計畫撰寫一篇優秀的文章)。學習者可能面臨「可用性缺陷」(availability deficiency)——缺乏所需的知識或技能——或「產出缺陷」(production deficiency)——在學習過程中未執行正確的調節活動。尤其是產出缺陷一直難以解決，而學習者使用的儀表板可作為鏡子，幫助學習者意識到自己的調節行為，與同儕比較學習活動，並進行反思 (Molenaar et al., 2018)。

實際上，我們已經在所有這些情境中使用了 FLORA 數據。

學習者使用的儀表板提供他們在寫作過程中的認知與元認知活動的詳細概覽。在課後回顧（debrief）課堂中，學習者回答關於自身學習的反思問題，並判斷自己最接近哪種 SRL 個人檔案（van der West et al. submitted）。他們與擁有不同檔案的同儕討論，並根據這些反思設定下一次寫作課的目標。在第二次寫作課中，AI 技術會針對他們的目標提供即時回饋。如此一來，學習者的監控與控制能力得到了 AI 技術的支持。

如同適性學習技術，理想的情境下，教學、示範、支架支持（scaffolding support）與反思應結合進行。我們與教師共同設計了一個課程序列，將寫作教育與 SRL 教學整合。教師對此方法非常熱衷，並表示希望擁有教師儀表板（teacher dashboard），以便在 SRL 教學中獲取學生使用 SRL 的資訊與洞見。這個教師儀表板將提供學習者在學習過程中的 SRL 分析，進一步支持更高階的教學實踐。

因此，學習者與教師使用的儀表板，提供對 SRL 過程的深入洞察，對 SRL 技能教學與支持具有重要作用。未來應用也可能包括生成式 AI（generative AI），允許學習者對支架做出回應，或提出與自身 SRL 檔案相關的問題。FLORA 引擎與大型語言模型（LLM）的結合，使得創新支持形式成為可能，利用學習者與 AI 的協作來展示 SRL 技能。一項涵蓋 25 個國家的大型國際研究即將開展，以進一步探索這些可能性並推動國際研究合作。

FLORA 方法已成功整合進 TALP 平台，未來的合作潛力可包括將 HHAIR 與 FLORA 方法連結，進一步提升對年輕學習者

SRL 的測量與支持。

從適性學習到適性學習者：人-AI 混合調節 (Hybrid Human-AI Regulation, HHAIR)

除了上述利用多重數據流進行微觀層級 SRL 測量的做法外，我們還開發了一種將 SRL 支援整合到數學教育中的新方法，使用適性學習技術 (ALTs)。如前所述，ALTs 可能減少學習者使用 SRL 活動的需求，因為 ALT 會承擔監控與控制活動 (Molenaar et al., 2018)。例如，根據學生的學習進度，當學生犯錯時，ALT 可以降低任務難度。這樣，學生就不需要自行監控進度，也不必採取控制策略來克服錯誤。在某些情況下，將調節工作外包給 AI 是有目的的，例如當學生認知負荷過重或缺乏必要的 SRL 技能時。因此，學習者可以從量身定制的 SRL 挑戰中受益，這些挑戰隨時間逐步增加，並可透過 AI 技術完成。

我先前建議將 AI 調節轉移給自我調節 (self-regulation) 作為發展學生 SRL 技能的機制 (Molenaar, 2022)。這種學習者與 AI 技術之間的過渡過程稱為人-AI 混合調節 (Hybrid Human-AI Regulation, HHAIR)。我們在 ALTs 的背景下開發了 HHAIR，使用學習者使用的儀表板 (learner-facing dashboards) 作為學習者與 AI 技術之間的介面。不同程度的混合調節 (hybrid regulation) 根據對調節控制的程度來定制 SRL 挑戰。實際上，SRL 的控制權從 AI 技術「傳遞」給學習者。ALT 的功能被用來使學習者意識到調

節行為、示範監控、參與控制活動，最終增進學習者的自我調節學習技能。這種前向適應性（forward adaptivity）被分為四個混合調節等級（見圖 1）。目前，已有三個等級（AI 調節、共同調節、共享調節）被開發並在實驗研究中進行探討。

AI 調節的特徵是 AI 控制學生練習的成功率。其主要目的是幫助學習者體驗有效調節的學習過程並取得學習成功。在學習過程中不使用儀表板，以避免認知過載，但可以在課後回顧課（debriefing lesson）中使用，以提升學習者對 SRL 的覺察。

表 1 混合調節的程度

混合調節的程度	AI 調節	人類調節	儀表板的功能
AI 調節	AI 廣泛監控並調整學生的成功率	體驗成功的調控並意識到 AI 的調控	學習後回顧 AI 的運作
共同調節	AI 限制性地監控並調整	了解 AI 如何進行調控並支持監控	儀表板透過績效反饋和學習曲線顯示，並告知學習者 AI 的控制行為
共享調節	AI 監控並允許學習者自行執行控制行動	理解監控並執行控制	儀表板顯示上述內容，並擴展提供額外的學習者控制選項
自我調節	觀察調控	監控並自主啟動控制	反映學習者的調控行為以支持監控與控制

在共同調節（Co-Regulation）階段，學習者使用學習者端儀表板（learner-facing dashboard）進行數學練習。儀表板提供學習者表現資訊以增強監控能力。它顯示學生的個別學習曲線，幫助學生理解學習進度，將其與努力程度對照，並判斷是否需要採取控制行動（如增加努力）。這使學習者能夠發展監控技能。

在共享調節（Shared-Regulation）階段，學習者被鼓勵自行

行使控制，接管之前由 AI 技術管理的任務。儀表板仍然作為明確的參考工具，幫助學習者監控進度並評估是否需要採取控制行動。在目前版本中，學習者可以調整 ALT 選擇題目的成功率，增加或減少挑戰難度。

最終，在自我調節學習（Self-Regulated Learning, SRL）階段，AI 將調節控制權完全交還給學習者。儀表板作為明確參考，使學習者理解自己的調節狀態，但控制與監控行動完全由學習者負責。

隨著我們在這些人-AI 混合調節等級中進行過渡，AI 在控制調節中的角色逐漸減弱，學習者則被期望獲得 SRL 技能，並在過程中使用學習者端儀表板作為參考。需要注意的是，學習者主動發起的自我調節行為在所有混合調節等級中均存在。然而，隨著時間推移，AI 的控制和支援會逐漸減少，學習者越來越依賴內部觸發與控制行動。

這種 AI 技術與學習者之間的前向適應性關係，用於培養年輕學習者的監控與控制技能。在 ALTs 中，這結合了 ALT 的學習者模型與學習者知識發展的預測分析，以及 SRL 支援需求的新過程測量（Dijkstra et al., 2023; 2025）與一致性評估（Ring et al., submitted）。雖然 HHAIR 研究仍在發展中，我想簡述一些前向適應性在實踐中的例子。

這些不同等級的混合調節由一個新算法覆蓋，該算法專門用於測量學生的 SRL 支援需求（Dijkstra et al., 2023），並可在練習過程早期進行預測（Dijkstra et al., 2025）。根據這些預測，可以

選擇不同層級的 SRL 支援。新設計的學習路徑（Learning Path）App 在學習者端儀表板中明確呈現學習者與 AI 之間的過渡過程。我們發現，學習者從 AI 調節（Dijkstra et al., submitted）與共同調節（Molenaar et al., 2018; Horvers et al., 2025）中獲益。在共享調節階段，學習者使用了這些選項，但出現了不同的學習者類型（Kooi et al., 2025）。

綜合上述，AI 在領域知識與通用技能發展中的角色非常複雜。我討論了適性學習對學生領域知識發展的正向貢獻，並以數學 ALT 的例子加以說明。然而，適性學習也可能阻礙學生自我調節學習能力的發展。我概述了 SRL 的重要性、新的測量與支援方法，最後展示了如何運用人 -AI 混合調節概念，將適性學習轉化為適性學習者，以培養學生的自我調節學習技能。

臺灣在數位學習平台、SRL 與數學成就之間關係的開創性研究（Lin, Kou & Chang, 2025）證實了 SRL 在數學技能發展中的重要性，以及數位學習平台在促進 SRL 中的中介作用。透過 AI 解決方案促進領域知識與通用技能的雙向增進，是未來研究的關鍵領域，也為未來國際合作提供了廣泛的機會。

未來願景：邁向教育中的人 -AI 混合協作

最後，我想強調人 -AI 協作的重要性，以及我們需要進一步深化對此的理解。如前所述，傳統上，教師的角色往往被大大低估，而人工智慧（AI）常被定位為教師的替代。然而，近期

的反思重新強調了教師在課堂中協調 AI 技術使用的角色（Ley 等，2025）。這一觀點與「人-AI 混合協作」的概念相呼應，強調 AI 技術不僅是替代，而是增強教師的能力（Molenaar, 2025；Schneiderman, 2022）。

我們開始理解教師的教學與指導實踐如何在與 AI 技術互動中發生變化。這種教師實踐與 AI 技術之間的演變關係可以被設計成有意義的協作模式。貴單位的共同實施計畫正在做這件事，即透過組織教師、技術開發者和研究者之間的結構化對話，使這一轉型過程變得可觀察且可衡量。在這一創新過程中，教師與技術開發層面的實踐相互生成、共同演化，並被設計為互相強化。這為課堂教學帶來了全新的轉型途徑與實踐模式。

我將以與會議主題的結合來結束這場演講。

首先，就 AI 技術在課程開發中的角色而言，適應性 AI 技術能整合不同類型的自適應功能，支持高效且有效的學習，從而促進學生的領域知識發展。此外，課程自適應應用中，教師與 AI 協作優化學習目標在學年內的順序與時機，也是 AI 技術的重要應用。學生自我調節學習（SRL）技能的發展，不僅能促進領域知識學習，也能為未來學習做好準備。AI 技術的新應用可以促進從 AI 調控到自我調控的過渡，進而發展學生的 SRL 技能。結合這兩點，我們可以從「適應性學習」推進至「適應性學習者」。

就 AI 在教學創新中的應用而言，研究凸顯了教師在課堂中協同操作 AI 技術的重要角色。設計一個學生、AI 技術與教師相互強化的社會技術系統，可以推動教學創新。我指出，為了優化

創新且具變革性的課堂實踐，需要增進對人-AI 協作的理解。綜合而言，教學創新可以促成 AI 輔助教師與學習者的教學實踐，使 AI 成為補充與增強的工具，而非單純的替代。

雙重途徑對小學及中學的評量與測試具有重要意涵。研究表明，SRL 是推動學生學業成功的關鍵機制。教師與課程設計者應善用這類平台的雙重效益：一方面直接提升學業成果，另一方面透過培養 SRL 間接改善學習表現。領域知識與通用技能都應得到充分關注，並需要探索形成性與總結性評量的新組合方式。

最後，AI 時代的教師教育面臨挑戰：培養具備扎實教學知識與技能的教師，使其能在課堂中有效執行教學，並有能力將 AI 技術有意義地整合進教學中。理想情況下，教師能與 AI 協同操作，找到自身角色與 AI 在支持學習者間的有效任務分工。為此，教師作為教學設計者的角色需要被明確重視，因為教材與學習環境的設計越來越融入教學循環（Topali 等，2025）。將教師納入共設計實踐作為專業發展的一部分，能幫助教師發展新的角色，這在我所舉的共創與共實施計畫中已有展示。

總結而言，本次演講強調了教師在引導學生沿雙重途徑發展領域知識及通用技能（如自我調節學習技能）中的關鍵作用。教師在協同操作這些雙重途徑中扮演重要角色。雖然已邁出第一步，但仍需要未來研究來優化 AI 輔助下的領域知識與 SRL 技能發展，並明確定位教師在課堂中有效協同 AI 技術的角色。這些議題有廣泛的合作空間，我期待在臺灣逗留期間，向各位學習與交流。

References

- Aleven, V., Baraniuk, R., Brunskill, E., Crossley, S., Demszky, D., Fancsali, S., ... & Xing, W. (June 2023). Towards the Future of AI-Augmented Human Tutoring in Math Learning. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 26-31). Cham: Springer Nature, Switzerland.
- Azevedo, R., & Gašević, D. (2019). Analyzing multimodal multichannel data about self-regulated learning with advanced learning technologies: Issues and challenges. *Computers in Human Behavior, 96*, 207-210.
- Baker, R. S. (2016). Stupid tutoring systems, intelligent humans. *International journal of artificial intelligence in education, 26*(2), 600-614.
- CELLA Centre for Learning and Living with AI.
<https://www.cellaresearch.org>
- Cijvat, C.C., Denessen, E.J.P.G., Slegers, P.J.C. & Molenaar, I. (2025). Teachers' self-regulated teaching in innovative adaptive teaching practices. *Teacher Development*. doi: 10.1080/13664530.2025.2560971
- Cukurova, M. (2025). The interplay of learning, analytics and artificial intelligence in education: A vision for hybrid intelligence. *British Journal of Educational Technology, 56*(2), 469-488.
- Cukurova, M., Kent, C. & Luckin, R. (2019). Artificial Intelligence and multimodal data in the service of human decision-making: A case study in debate tutoring. *British Journal of Educational Technology*,

- 50(6), 3032-3046. <https://doi.org/10.1111/bjet.12829>
- Dignath, C., & Karlen, Y. (2023). Teachers' professional competence to support metacognition. In *Metacognition and Education: Future Trends* (pp. 45-66). Routledge.
- Dignath, C., & Veenman, M. V. (2021). The role of direct strategy instruction and indirect activation of self-regulated learning—Evidence from classroom observation studies. *Educational Psychology Review*, 33(2), 489-533.
- Dijkstra, S.H.E., Hinne, M., Segers, P.C.J. & Molenaar, I. (2023). Clustering children's learning behaviour to identify self-regulated learning support needs. *Computers in Human Behavior*, 145:107754. doi: 10.1016/j.chb.2023.107754
- Fan, Y., Van der Graaf, J., Lim, L., Raković, M., Singh, S., Kilgour, J., Moore, J., Molenaar, I., Bannert, M. & Gašević, D. (2022). Towards investigating the validity of measurement of self-regulated learning based on trace data. *Metacognition and Learning*. <https://doi.org/10.1007/s11409-022-09291-1>
- Fan, Y., Raković, M., van der Graaf, J., Lim, L., Singh, S., Moore, J., Molenaar, I., Bannert, M. & Gašević, D. (2023). Towards a fuller picture: Triangulation and integration of the measurement of self-regulated learning based on trace and think aloud data. *Journal of Computer Assisted Learning*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jcal.12801>
- Graaf, J. van der, Rakovic, M., Fan, Y., Lim, L., Singh, S., Bannert, M., Gasevic, D. & Molenaar, I. (2023). How to design and evaluate personalized scaffolds for self-regulated learning. *Metacognition*

- and Learning*, 18(3), 783-810. doi: 10.1007/s11409-023-09361-y
- Gersten, R., Keating, T. & Becker, W. (1988). The continued impact of the Direct Instruction model: Longitudinal studies of Follow Through learners. *Education and Treatment of Children*, 318-327.
- Holmes, W. & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*, 57(4), 542-570. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejed.12533>
- Horvers, A., Snoeijen, K. & Molenaar, I. (2024). NOLAI Reference Framework 2024: AI in Education. https://www.ru.nl/sites/default/files/2024-06/NOLAI_AI%20in%20onderwijs%202024.pdf
- Horvers, A., Kooi, R., Knoop-van Campen, C.A.N., Dijkstra, S.H.E., Baars, M.A. & Molenaar, I. (2024). How does co-regulation with Adaptive Learning Technologies affect primary school students' goal-setting, regulation of practice behavior and learning outcomes? *Frontiers in Education*, 9:1435483. doi: 10.3389/feduc.2024.1435483
- Järvelä, S., Nguyen, A. & Molenaar, I. (2023). Advancing SRL research with artificial intelligence. *Computers in Human Behavior*, 147: 107847. doi: 10.1016/j.chb.2023.107847
- Lämsä, J., Mooij, S.M.M. de, Aksela, O., Athavale, S., Bistolfi, I.M.F., Azevedo, R., Bannert, M., Gasevic, D., Molenaar, I. & Järvelä, S. (2025). Measuring secondary education students' self-regulated learning processes with digital trace data. *Learning and Individual Differences*, 118:102625. doi: 10.1016/j.lindif.2024.102625
- Lim, L., Bannert, M., van der Graaf, J., Fan, Y., Rakovic, M., Singh, S., ... & Gašević, D. (2024). How do students learn with real-time

- personalized scaffolds?. *British Journal of Educational Technology*, 55(4), 1309-1327.
- Li, X., Fan, Y., Li, T., Rakovic, M., Singh, S., Graaf, J. van der, Lim, L., Moore, J.D., Molenaar, I., Bannert, M. & Gasevic, D. (2025). The FLoRA engine: Using analytics to measure and facilitate learners' own regulation activities. *Journal of Learning Analytics*, 12 (1), 391-413. doi: 10.18608/jla.2025.8349
- Kessel, M. van, Molenaar, I., Knoop-van Campen, C.A.N., Jonge, M. de & Saab, N. (2025). Primary school teacher perspectives on effective dashboard use in the classroom: Skills, knowledge, and contextual conditions. *Journal of Learning Analytics*, 12 (2), 279-292. doi: 10.18608/jla.2025.8493
- Knoop-van Campen, C.A.N., Graaf, J. van der, Horvers, A., Kooi, R., Dijkstra, S.H.E. & Molenaar, I. (2024). Enacting control with student dashboards: The role of motivation. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40 (3), 1137-1153. doi: 10.1111/jcal.12936
- Knoop-van Campen, C.A.N. & Molenaar, I. (2020). How teachers integrate dashboards into their feedback practices. *Frontline Learning Research*, 8(4), 37-51. <https://doi.org/10.14786/flr.v8i4.641>
- Knoop-van Campen, C.A.N., Wise, A. & Molenaar, I. (2021). The equalizing effect of teacher dashboards on feedback in K-12 classrooms. *Interactive Learning Environments*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1931346>
- Kulik, J. A., & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: a meta-analytic review. *Review of educational research*,

- 86(1), 42-78.
- Kuo, B. C., Chang, F. T. Y., & Lee, Y. L. (2023). Trends and issues of digital learning in Taiwan. *Trends and issues of promoting digital learning in high-digital-competitiveness countries: Country reports and international comparison*, 349-392.
- Kuo, B. C., & Chang, F. T. Y. (2025). Development and application of a self-regulated learning questionnaire in the large-scale digital learning context. *Education and Information Technologies*, 1-24.
- Ley, T., Cukurova, M., Edwards, J., Falhs, A. C., Järvelä, S., Kasepalu, R., ... & Zhou, Q. (2025, September). Teaching with AI: The Role of Teachers in the Hybrid Intelligent System. In *European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 32-45). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Molenaar, I. & Knoop-van Campen, C.A.N. (2019). How teachers make dashboard information actionable. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(3), 347-355. <https://doi.org/10.1109/TLT.2018.2851585>
- Molenaar, I., Bakker, M., Knoop-van Campen, C.A.N. & Hasselman, F. W. (2018). *Onderwijsvernieuwing met een adaptief leermiddel: Richting gepersonaliseerd leren*. [Teaching innovation with an adaptive learning tool: Towards personalised learning]. NRO. <https://www.nro.nl/sites/nro/files/migrate/405-15-823-048-Rapportage-Doorbraakproject-Onderwijsvernieuwing-met-een-adaptief-leermiddel-Richting-gepersonaliseerd-leren.pdf>
- Molenaar, I., Horvers, A., Dijkstra, R., & Baker, R. S. (2020, March). Personalized visualizations to promote young learners' SRL:

- The learning path app. In *Proceedings of the tenth international conference on learning analytics & knowledge* (pp. 330-339).
- Molenaar, I. (2022). Towards hybrid human-AI learning technologies, *European Journal of Education*. <https://doi.org/10.1111/ejed.12527>
- Molenaar, I. (2022). The concept of hybrid human-AI regulation: Exemplifying how to support young learners' self-regulated learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100070>
- Molenaar, I., de Mooij, S., Azevedo, R., Bannert, M. Gašević, D., Jarvela, S. (2023). Measuring self-regulated learning and the role of AI: Five years of research using multimodal multichannel data. *Computers in Human Behavior*. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107540>
- Molenaar, I. (2024). *Human-AI collaboration in education: The hybrid future*. Inaugural address RU (2024, September 26). Nijmegen: Radboud University
- Mooij, S.M.M. de, Lämsä, J., Lim, L., Aksela, O., Athavale, S., Bistolfi, I.M.F., Jin, F., Li, T., Azevedo, R., Bannert, M., Gasevic, D., Järvelä, S. & Molenaar, I. (2025). A systematic review of self-regulated learning through integration of multimodal data and artificial intelligence. *Educational Psychology Review*, 37(2):54. doi: 10.1007/s10648-025-10028-0
- OECD (2025). Empowering Learners for the Age of AI: An AI Literacy Framework for Primary and Secondary Education. https://ailiteracyframework.org/wp-content/uploads/2025/05/AILitFramework_ReviewDraft.pdf

- UNESCO (2019). Beijing Consensus on Artificial Intelligence and Education, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000368303>
- Shneiderman, B. (2022). *Human-centred AI*. Oxford University Press.
- Schwartz, D. & Molenaar, I. (2023). Adaptive Learning in a Changing World. 2023 Jacobs Foundation Conference. Cascias Portugal.
- Van der Graaf, J., Lim, L., Fan, Y., Kilgour, J., Moore, J., Gašević, D., ... & Molenaar, I. (2022). The dynamics between self-regulated learning and learning outcomes: An exploratory approach and implications. *Metacognition and Learning*, 17(3), 745-771. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11409-023-09361-y>
- Van der Graaf, J., Raković, M., Fan, Y., Lim, L., Singh, S., Bannert, M., ... & Molenaar, I. (2023). How to design and evaluate personalised scaffolds for self-regulated learning. *Metacognition and Learning*, 18(3), 783-810. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11409-023-09361-y>
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid [Scientific Council for Government Policy] (2021). *Opgave AI. De nieuwe systeemtechnologie* [The AI Challenge. The New System Technology], WRR Report 105, The Hague: WRR. <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2021/11/11/opgave-ai-de-nieuwe-systeemtechnologie>
- Winne P.H. and Hadwin A.F. (1998). In Hacker D.J., Dunlosky J. and Graesser A. Studying as self-regulated learning. *Metacognition in educational theory and practice*, Hillsdale, NJ Lawrence Erlbaum 277-304.

大 AI 時代的中小學教育革新：課程、教學與評量
2025 教育政策研討會綜合建言

主 編 黃昆輝

出 版 財團法人黃昆輝教授教育基金會

地址 臺北市 114 內湖區行善路 455 號 4 樓

電話 (02)2790-6303

傳真 (02)2790-9389

網 址 <http://www.hkh.edu.com>

出版日期 2026 年 2 月初版

定 價 100 元

ISBN (平裝)

本書之文字、圖形、設計均是著作權所有，若有抄襲、模仿、冒用情事，依法追究。
如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回更換。



財團
法人

黃昆輝教授教育基金會

The Professor Huang Kun-huei Education Foundation

會址：11469台北市內湖區行善路455號4樓

電話：02-27906303 傳真號碼：02-27909389

