

《書評》

導讀 《STEM 教育裡的教學鷹架》

REVIEW OF BRIAN R. BELLAND'S “INSTRUCTIONAL SCAFFOLDING IN STEM EDUCATION: STRATEGIES AND EFFICACY EVIDENCE”

林君憶
Chun-Yi Lin

壹、本書簡介

科技快速發展帶動經濟、社會、環境等方面的改變與衝擊，教育為人們能否成功因應這些改變的重要契機。舉例來說，部分繁重繁瑣但容易學習、具規則清楚的工作，將由機器、人工智慧代勞，根據牛津大學研究預測未來有許多職業將消失，包含電話行銷人員、司機、房地產仲介、行政秘書等（Frey & Osborne, 2017）；除善用科技，不當運用也可能造成社會動盪，例如輸入幾項關鍵字，人工智慧即能編造常人難以辨識的假新聞；還有隨經濟發展而來的天然資源剝奪與嚴厲的氣候變遷問題，皆為人類極需共同面對解決的難題。由多國頂尖大學教育學者參與的 Education 2030 計畫，以未來個人與社會安樂為前提，重新檢視當前課程面臨的挑戰，考量提高教育的品質與平等，提出素養導向的課程架構，建議以學生為中心的設計、主題具挑戰程度以刺激深度思考與反思、聚焦關鍵概念的學習與活用、及學習遷移的優先性等（OECD, 2018）。

以上建議使人聯想到「以問題為中心的教學取向（problem-centered instructional approaches）」，涵蓋問題導向學習、發現式學習、探究式

林君憶，國立臺灣師範大學教育系專案助理教授

電子郵件：chunylin@ntnu.edu.tw

本文評介：Belland, B. R. (2017) *Instructional scaffolding in STEM education*. Springer: Cham, Switzerland.

學習、經驗式學習、及建構式學習等。然而 Kirschner、Sweller 與 Clark (2006) 整理實徵研究，主張相較於傳統講述式教學，以問題為中心的教學取向提供學生極少指引的教學法，因此缺乏效能與效率。使得教育工作者不禁猶豫什麼是有效的教學方法？多年致力於多項重要教學鷹架研究的學者 Belland (2017) 提出兩點反駁：一、零指引的學習情境的確導致貧乏的學習成果，然而多數以問題為中心的教學取向，以教學鷹架 (instructional scaffolding) 的形式提供學生強而有力的支持。二、相較於講述式教學，以問題為中心的教學取向具不同的學習目的，其對於深度內容學習 (deep content learning) 及原則與活用 (principles and applications) 的成果已有完整實徵研究支持，且筆者認為以問題為中心的教學取向之目的與當前教育改革更有一致性。

即使如此，當代仍有待探究的問題：隨資訊科技與人工智慧發展，越來越多學校現場融入各式支持學習的科技系統，希望開創優質理想的教育。例如筆者曾參與個人化學習的電腦系統 (Personalized Integrated Educational System) 之理論發展 (Reigeluth et al., 2015)，近年以北加州為基地，開設多間由電腦工程師與教師共同組成的實驗學校 Altschool 即為電腦系統支持個人化學習之應用。又例如可汗學院及臺灣均一平台提供偏鄉與各地穩定的學習資源，學生能依照不同速度與個人興趣選擇學習內容與練習。筆者參與調查美國以學習者為中心取向的學校之科技使用研究，該研究發現教師皆使用科技，但系統不一定完整支援學習者中心的學習，其中較完整的系統，例如 Project Foundry 支持學生的專題導向學習、ALEKS 具完整的個人化學習系統，但僅限數學 (Lee, Huh, Lin, & Reigeluth, 2018)。然而，各種教育科技平台或系統可能採用不同的教學鷹架策略，這些不同設計潛藏的理论架構為何？各種電腦化鷹架 (computer-based scaffolding) 策略效能為何？雖有小規模的後設分析研究，但尚未得到系統性的完整檢證。

作者 Belland 希望透過本書，梳理不同教學鷹架策略之理論背景，進一步聚焦電腦化鷹架的後設分析研究發現，藉由作者與其研究團隊分析整合 144 篇已出版的研究中 333 項成果，探討不同電腦化鷹架策略之實徵研究，檢視其在不同情境脈絡下的效能。值得注意的是，電腦化鷹架支援以問題為中心的教學取向已可在許多領域應用，Belland 進行後設分析時，選

擇電腦化鷹架在 STEM 領域應用之量化研究而排除其他相關研究，因為目前電腦化鷹架在 STEM 領域的應用相較其他領域更普遍，量化研究也較其他領域完整，故先選擇該領域作為初次探究的焦點。作者 Belland 希望本書能夠幫助鷹架設計者、相關研究者與教師等，理解電腦化鷹架策略在不同情境下的效能，更完整地考慮鷹架設計與選用。

貳、本書作者簡介

Dr. Brian R. Belland 現為賓州州立大學 (The Pennsylvania State University) 教育心理學系副教授，曾任猶他州立大學教學科技與學習科學系副教授與助理教授，具數年中小學教學與業界經驗，於 2008 年取得普渡大學課程與教學系的教育科技博士。Dr. Belland 的研究領域包含機器學習 (machine learning) 運用於客製學習鷹架、國高中科學課程以問題導向學習 (problem-based learning) 論證能力之鷹架、整合各年齡層 STEM 課程的鷹架研究、及職前教師培育的鷹架。Dr. Belland 投入於研究法與鷹架主題，其研究工作獲高度認可，曾主持七項國家研究補助計畫，獲多次國家級獎項，包含 American Educational Research Association (AERA) 問題導向學習與教學科技的最佳論文獎、Association of Educational Communications and Technology (AECT) 研究與理論的傑出論文獎、以及美國 National Science Foundation (NSF) 頒給青年學者的職涯獎等。

參、本書內容精華

本書共有六章，第一章引介本書目的、以問題為中心的教學取向與 STEM 及鷹架的角色。第二章解釋「教學鷹架」起源，與依據不同理論演進出新的意義，其使用機制與情境也隨之擴展。第三章至第五章梳理不同的電腦化鷹架策略使用於不同脈絡之後設分析發現—第三章分析電腦化鷹架的使用情境與其效能證據，例如運用於不同年齡層學生、學科、學生類型、及教學模式的效能。第四章連結美國課程改革 Next Generation Science Standards (NGSS) 與電腦化學習鷹架，並依鷹架所設定的不同期望學習

成果進行後設分析得到之效能證據。第五章描述鷹架策略的多樣性，包含鷹架的功能、移除（fading）與新增（adding）鷹架的客製性、與使用之時間點等，作者解釋這些多樣鷹架策略對於認知學習成果的影響。第六章呈現電腦化教學鷹架與其他教育科技介入方法的效能比較，及提出後設分析結果如何回應文獻中值得辯論之以問題為中心的教學取向議題。最後，作者指出未來研究方向之建議。

第一章指出以問題為中心的教學取向已在 STEM 領域愈發重要，這類非結構性、可採不同取徑方法、且不只單一解答的問題，是真實世界裡專業人士受僱來解決的問題，然而過去在國民基礎教育裡卻很少將這類取向放入課程中。Belland 認為，如果可以在這個取向的歷程提供有效支持學生學習的方法，我們有極大機會能改進教育，為未來公民在 21 世紀的成功作準備。鷹架即是一種互動式的支持，使用學生已知道的來幫助他們有意義的參與、增能進行他們原本沒有支持不能達成的任務，這些任務可能包含解決難題、設計能解決問題的成品、以及完成專題（如圖 1）。

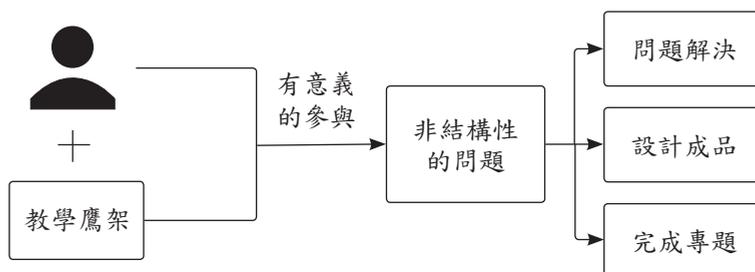


圖 1 教學鷹架在解決非結構性問題裡的角色

資料來源：Belland, B. R. (2017). *Instructional scaffolding in STEM education*. (p.5) Springer: Cham, Switzerland.

作者在第二章討論鷹架的意義與要素。鷹架比喻起源自 Wood、Bruner 與 Ross (1976) 研究成人提供幼兒協助，使成功利用積木堆疊出金字塔的歷程—成人簡化任務某些部分，使幼兒能專注於難題解決裡的關鍵元素，使得幼兒增能，在未來能夠獨自解決類似的問題。自此之後，鷹架經常被廣泛使用於不同情境指稱不同事物，因此 Belland 整理文獻，指出

鷹架的幾項要素：1. 動態評量，2. 提供恰好的支持，及 3. 互為主體性。限於書評篇幅關係，筆者聚焦於前兩者緊密連結的關係：不同於傳統評量，動態評量的目的不是將學生分類，而是希望透過評量調整更合適的教學。動態評量不只確知學生目前的表現程度，更要協助改善其表現；它聚焦於學生目前與其潛力能夠達到之表現。如此一來，動態評量能夠指出什麼會是恰好的支持，並及時提供客製化（*customized*）的支持，包含支持策略、接下來需要聚焦的技能部分、或在哪個時間點提供哪項支持。此外，「恰好的支持」除了常見逐步「提供」鷹架，同時包含根據動態評量結果逐步「移除」鷹架，目的是將目標表現的責任漸進地由鷹架提供者轉移給鷹架接受者，以期學習者未來能獨立解決問題。再來，Belland 解釋並比較不同鷹架的形式（表 1）。

表 1 比較一對一鷹架、電腦化鷹架、與同儕鷹架

	一對一鷹架	電腦化鷹架	同儕鷹架
是什麼？	一位教師採用一對一的方式與一位學生工作。	鷹架功能被一電腦工具履行，該電腦工具可以嵌入課程當中，使學生能利用電腦鷹架支持他們投入於（電腦工具外的）問題解決。	由相同或更好能力的同儕提供之鷹架支持
在各種鷹架形式中，什麼是其相對的優點？	對學習成果產生最強的影響。鷹架之動態客製調適能力最佳。	最能擴大規模。無限的耐心。	最能規模化，但仍涉及一對一互動的鷹架形式
在各種鷹架形式中，什麼是其相對的缺點？	最小的規模	最小機動性（ <i>least dynamic</i> ）	鷹架提供者並不一定較有能力

資料來源：Belland, B. R. (2017). *Instructional scaffolding in STEM education*. (p.24) Springer: Cham, Switzerland.

接著，Belland 提出電腦化鷹架定義與策略實際上相當多元，因它們的設計可能依據不同理論架構。書中詳細比較三個主要的理論架構，這些架構對「學習」存在不同假設，因而衍生不同的鷹架策略：

1. 思維調適控制理論 (Adaptive Character of Thought-Rational Learning Theory, 或簡稱 ACT-R) 主張教育者應決定學生該學什麼、如何安排學生的經驗。依據 ACT-R 理論設計的電腦化鷹架設計需完整的知識架構，以規劃學習歷程，最終能具備高層次能力的目標，ACT-R 主張這些高層次的能力能夠被拆解、分段學習。
2. 活動理論 (activity theory) 則不認為教育者應規範一致的學習目標或安排學習活動順序才能導致好的學習，反而支持學習者在歷程中他們之間的互動、及學習者與工具的互動，才能發展他們的能力。因此學習者所學可能因個人目的、運作的文化等而有差異。設計鷹架時需模擬並理解學習者在投入於非結構性問題時，互動的歷程，如此才能設計有助益的工具，支持學生在這種情境下學習。活動理論從整體的 (holistic) 觀點來看待高層次的能力，學生為發展這種能力需在工具與他人的鷹架支持下，投入真實的問題情境解決。
3. 知識整合理論 (knowledge integration) 目標為發展融合的 (integrated) 心智模式，以達到有深度的內容學習 (deep content learning)，學習者能將理解遷移至新情境。與思維調適控制理論及活動理論學習兩者聚焦在發展高層次能力不同。設計鷹架時，並不直接以新的知識取代既有知識；而是協助學生演化心智模式，呈現其透過思考推理得到的理論與觀點。例如，在解決問題的歷程裡，協助提取既有知識，使與新知識關聯，習得新知識並有意義地將新知識融入既有知識。

筆者認為有趣的是，根據不同的理論，對於什麼是好的鷹架或鷹架該如何有效設計與使用有不同的看法。例如，「掙扎」是不是在學習歷程中關鍵與必要的學習事件？或「挫折」是不是在歷程中應盡量避免？一方面，由活動理論觀點來看，學習應延展學生能力以發揮其最佳潛能，因此鷹架設計應極大化「具生展力的掙扎 (productive struggle)」— 在任務的範圍內最可能產生目標學習成果的、同時不至於放棄的掙扎或努力 (Simons & Ertmer, 2006)。因此，掙扎不是一種困擾而是學習的機會，從這個觀點來看，比起增加鷹架，活動理論更屬意以移除鷹架的策略支持學生的學習

(Pea, 2004)。另一方面, 思維調適控制理論觀點則不認為失敗有利於學習, 因此學習歷程設計傾向極大化成功經驗, 並極小化失敗經驗。值得注意的是 Belland 舉實徵研究說明 (p.42), 經由一對一的鷹架, 教師能夠透過靈活地提問與追問的互動來促進學生理解, 較目前的電腦化鷹架更為合適, 至少目前依據活動理論或知識整合理論設計的電腦化鷹架仍需搭配教師的一對一鷹架才能達成效能。

第三章到第六章作者呈現後設分析整合 144 篇已出版研究裡的 333 項成果, 在此摘要幾項發現:

- 比較 STEM 四個科目來看, 運用電腦化鷹架於這些科目的問題解決, 皆顯示高度效能且無顯著差異 ($g=0.58\sim0.42$)。
- 比較電腦化鷹架用於一般中產階級與其他五個學生類型群體, 產生的學習成效發現運用於一般學生之效能 ($g=0.48$) 統計上顯著高於運用於低成就學生 ($g=0.28$), 未來研究需持續投入研發電腦化鷹架的設計, 能確實協助低成就學生之有效策略。註, 用於低社經地位學生效能為 ($g=0.51$)。
- 比較電腦化鷹架運用於不同教學模式, 發現電腦化鷹架在專題式學習 ($g=1.33$) 之效能整體高於其他的模式, 包含問題解決 ($g=0.53$)、探究式學習 ($g=0.42$)、設計導向學習 ($g=0.30$)、及問題導向學習 ($g=0.27$)。問題導向學習的歷程與答案可能因更開放、需要更大程度的自主學習, 因目前 K-12 學生尚未具備足夠的相關經驗, 需教師提供更多支持自主 (autonomy) 的鷹架, 筆者亦曾進行該主題研究有相同發現 (Lin & Reigeluth, 2016)。
- 以鷹架支持 STEM 領域的期望學習成果已有共識, 包含高層次思考智能與深度內容學習, 與美國課程改革 NGSS 提出的方向大致相同。比較電腦化鷹架在內容學習的效能 ($g=0.50$) 與高層次思考 ($g=0.45$) 的效能證據, 無太大差異, Belland 指出這點值得注意, 因為過去教學模式介入很少能兩者兼顧: 講述式雖顧及內容學習但忽略高層次思考, 問題導向學習雖顧及高層次思考但學生對內容回溯表現較弱, 電腦化鷹架似對於彌補這一斷層能有所貢獻。

最後，作者比較電腦化鷹架對認知成果的效能與其他教育科技介入之效能，發現鷹架優於批判性思考、直接教學法、閱讀與數學教學。回應 Kirschner、Sweller 與 Clark (2006) 對於以問題為中心的教學取向之批評，鷹架能夠提供強而有力的支持，且在現今教育系統生師比仍高的情況，電腦化鷹架雖較教師鷹架生硬，但能提供較大規模且穩定的支持，若搭配一對一互動鷹架能提升達成期望學習成果的效能。

肆、結語

本書探討支持問題為中心之教學取向的鷹架設計。Belland 指出教學鷹架不同的理論依據導致多元的電腦化鷹架設計，其對於學習的本質、該如何支持學習存在不同假設。以筆者自身的觀察舉例，由麻省理工學院與哈佛大學開發程式學習的平台 CODE.ORG 引導學習者投入一系列經排序的問題，使逐步增能以解決更複雜困難的問題或設計成品，可見以思維調適控制理論為其依據；大規模線上開放課程平台 Coursera 上有部分課程採用科技，設計鷹架支持學習者與其他學生產生深度互動，當學生線上送出一份關於某概念之在地實踐的寫作作業的同時，他會立刻得到系統送來三篇由各地學生所寫的作業，該生將參考評量規準提供意見，同時學生自己的作業也將得到回饋，以此支持學習動機與認知層面的策略偏向活動理論設計的鷹架。

本書作者 Belland 與其研究團隊進行後設分析，指出電腦化鷹架對於支持以問題為中心的教學取向具高度效能，他也建議除了認知方面成效，未來研究需投入發展更能支持自主學習之電腦化鷹架，及針對 STEM 領域尚未有足夠代表性的族群所設計之電腦化鷹架，或與電腦化鷹架搭配之一對一鷹架策略。最後，雖本書聚焦於 STEM 課程裡的教學鷹架，筆者認為對於其他領域仍相當具參考價值，因目前素養導向的課程改革中，各領域亦逐漸考慮以問題為中心的教學取向。雖受限於教育體系的師生比未能以一對一的互動方式提供鷹架，若能研究電腦化或其他能擴大鷹架規模之教學策略（例如，鷹架策略應用於以問題為中心的教科書設計），即以學習理論為基礎、以科技作為工具支援，透過設計鷹架與評估效能，再循環地回饋給策略與工具之修正調整，作為提升當代教育品質與平等的方法。因

此筆者推薦本書給教學鷹架設計者、研究者、教育科技的開發者、學校教師甚至學習者參考，希望有所助益。

參考文獻

- Belland, B. R. (2017). *Instructional scaffolding in STEM education*. Springer: Cham, Switzerland. doi:10.1007/978-3-319-02565-0_1
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change, 114*, 254-280.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*(2), 75–86. doi: 10.1207/s15326985ep4102_1
- Lee, D., Huh, Y., Lin, C. Y. & Reigeluth, C. M. (2018). Technology functions for personalized learning in learner-centered schools. *Educational Technology Research and Development, 66* (5), 1269-1302. doi: 10.1007/s11423-018-9615-9
- Lin, C. Y., & Reigeluth, C. M. (2016). Scaffolding wiki-supported collaborative learning for small-group projects and whole-class collaborative knowledge building. *Journal of Computer Assisted Learning, 32*(6), 529-547. doi: 10.1111/jcal.12140
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. Retrieved from [http://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](http://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf)
- Pea, R. D. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *Journal of the Learning Sciences, 13*(3), 423–451. doi: 10.1207/s15327809jls1303_6
- Reigeluth, C. M.*, Aslan, S., Chen, Z., Dutta, P., Huh, Y., Lee, D., Lin, C. Y., Lu, Y. H., Min, M., Tan, V., Watson, S.L., & Watson, W. R. (2015). Personalized integrated educational system: Technology functions for the learner-centered paradigm of education. *Journal of Educational Computing Research, 53*(3), 459-496. doi: 10.1177/0735633115603998
- Simons, K. D., & Ertmer, P. A. (2006). Scaffolding disciplined inquiry in problem-based learning environments. *International Journal of Learning, 12*(6), 297–305.
- Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17*(2), 89-100. doi: 10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x