

教育研究集刊

2025年6月，71（2），頁227-268

[https://doi.org/10.6910/BER.202506_71\(2\).0003](https://doi.org/10.6910/BER.202506_71(2).0003)



展望科學教育： 行動能力的發展與能動性的培養

陳仕輝、劉湘瑤

摘要

研究目的

科學改變了世界文明發展的樣貌，科學教育則傳達了科學學習的過程，STS (Science, Technology, and Society)、STSE (Science, Technology, Society, and Environment) 與STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) 等倡議也在科學教育的推動下應運而生，過去20年來，教導學生科學知識與其相關的科學與社會性科學議題已然成為科學課室中的實踐方法。然而，科學教育社群對此做法持續有著不同的討論，特別是在面對全球性的社會生態危機與具高度不確定性的問題時，只是在課室中表達關心或提出具體的論點與主張，對於真實社會環境來說，無助於問題的解決。透過意識到問題的存在，並以實際行動解決問題，對社會現況產生變革性的影響，方能展現新一代科學素養所欲強調之能動性。因此，本研究透過國際學生活力評量計畫 (Programme for International

陳仕輝，國立臺中教育大學科學教育與應用學系助理教授

劉湘瑤，國立臺灣師範大學科學教育研究所／生命科學系合聘教授（通訊作者）

電子郵件：liusy@ntnu.edu.tw

投稿日期：2024年10月31日；修改日期：2025年02月13日；接受日期：2025年06月09日

Student Assessment, PISA) 架構的改變，以及科學教育對於「能動性」一詞的解釋與其相關文獻回顧，建立新一代科學素養的教育實踐方式。

主要理論或概念架構

我國新課綱自2019年施行以來，在終身學習的目標下，強調社會參與的面向，期望在科學學習上能透過個人實踐並協助他人解決科學相關問題。源自18世紀晚期自歐洲發展的*Bildung*教育理念與20世紀末丹麥學者所提出的行動能力取徑，強調在瞭解議題產生的根本原因與影響後，透過行動策略的制定、願景的描繪與集體承諾的發展，以逐步的行動達成社會改變。

研究設計／方法／對象

本研究回顧重要的理論和實證研究，歸納出以*Bildung*為基礎、行動為媒介的新一代科學素養，並具象化PISA中能動性於科學素養所扮演的角色。

研究發現或結論

經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）發布之2025年PISA架構發生了重大改變，除合併原有科學能力的項目外，並新增第三項科學能力為「研究、評估與使用科學資訊以做出決定與行動」，強調在評估資訊後做出決策與採取行動的能力，並針對其所包含的環境科學能力做出說明。此架構除了因應永續發展目標的達成外，更是呼應《2030年教育和技能未來計畫》（Future of Education and Skill 2030 Project）所倡議的學生能動性，強調人類世中學生能動性評估之必要性，以及在新增科學認同感的構面下，能動性對其能力表現的影響。然而，科學教育領域中，對於「能動性」一詞缺乏明確的操作型定義，在教學的實踐上，也僅有極少數的研究。近年有明確使用能動性此一概念與詞彙的研究則提出了「批判性科學能動性」一詞，即由科學課室中的概念學習，延伸至班級、學校與社區生活的參與，除了解決科學性的問題外，更重要的是解決生活周遭的社會性科學議題，除了促進班級、學校與社區的生活福祉外，更可進一步影響當地行政機構的決策。

理論或實務創見／貢獻／建議

從科學教育與其倡議的發展脈絡中，檢視現行科學素養所強調之內涵，藉由科學教育社群針對現行學校科學教育所提出的反思，瞭解學習者所應具備之未來技能與素養，以變革之方式影響社會現況。基於這些反思的前瞻性研究與PISA新架構的提出，反映科學教育必須從科學課室的活動轉化為真實世界的行動，透過跨出建構未來圖像為科學教育目標的第一步，以建立新一代的科學素養。不論是政策制定者或教育實踐者，均應思考現有課程與教學方式如何培養學生面對問題和採取行動的能力，達成實現人文主義科學之教育理念。

關鍵詞：行動能力、社會性科學議題、科學素養、能動性、變革

Bulletin of Educational Research
June, 2025, 71(2), pp. 227-268
[https://doi.org/10.6910/BER.202506_71\(2\).0003](https://doi.org/10.6910/BER.202506_71(2).0003)

Envisioning Science Education: The Development of Action Competence and the Cultivation of Agency

Shih-Yeh Chen, Shiang-Yao Liu

Abstract

Purpose

Science has transformed the course of human civilization, and science education plays a crucial role in conveying the process of scientific learning. Movements such as STS, STSE, and STEM have emerged as integral components of science education. Over the past two decades, teaching scientific knowledge and addressing socio-scientific issues have become essential practices in science classrooms. However, these approaches remain subjects of debate within the science education community. In particular, when facing global socio-ecological crises and highly uncertain problems, merely expressing concern or presenting arguments in the classroom does little to solve real-world issues. The recognition of existing issues and the implementation of concrete

Shih-Yeh Chen, Assistant Professor, Department of Science Education and Application, National Taichung University of Education

Shiang-Yao Liu, Professor, Graduate Institute of Science Education, School of Life Science,
National Taiwan Normal University, Corresponding Author

Email: liusy@ntnu.edu.tw

Manuscript received: Oct. 31, 2024; Revised: Feb. 13, 2025; Accepted: Jun. 09, 2025.

actions to address them are pivotal in driving transformative influences on societal structures, thereby embodying the notion of agency central to new generation scientific literacy. Accordingly, this study analyzes the revised PISA framework, explores various interpretations of agency within science education, and reviews relevant literature to formulate educational practices that align with the principles of new-generation scientific literacy.

Main Theories or Conceptual Frameworks

Since the implementation of Taiwan's new curriculum guidelines in 2019, lifelong learning has been an emphasis on social participation. Science education, in this context, aims to equip individuals with the abilities to address science-related problems through personal action and collaboration with others. The conceptual framework is rooted in the educational philosophy of *Bildung* developed in late 18th-century Europe and the action competence approaches introduced by Danish scholars in the late 20th century, which emphasize understanding the root causes and impacts of issues. It advocates for the formulation of action strategies, articulation of visions, and cultivation of collective commitments to achieve social transformation through incremental actions.

Research Design/Methods/Participants

This article reviews key theoretical and empirical research to conceptualize the new-generation scientific literacy grounded in the *Bildung* and the action competence approaches and to concretize the role of agency in scientific literacy within the PISA framework.

Research Findings or Conclusions

OECD released the PISA 2025 science framework, which introduced significant changes. Along with existing scientific competencies, a third competency—Research, evaluate and use scientific information for decision making and action—has been added to emphasize the ability to act upon assessed information. This framework also placed increased emphasis on environmental science competencies, not only in response to the SDGs but also aligning with the “Education and Skills 2030” project, which

advocates for student agency. It highlights the need for assessing student agency in the Anthropocene and introduces the influence of agency on the competencies under a new construct of science identity. However, the term “agency” still lacks a clear operational definition within science education. Consequently, few studies have demonstrated it in practice. Recent studies on “agency” have introduced the notion of critical science agency, which reflects how students extend their learning from science classrooms to engage with their school and community life. Beyond solving scientific problems, the focus is on addressing relevant socio-scientific issues, enhancing well-being, and influencing local government decisions.

Theoretical or Practical Insights/Contributions/Recommendations

This study examines the emphasis of contemporary scientific literacy within the historical development of science education and movements, incorporating reflections on current school-based science education to identify the future skills and competencies learners must develop to influence societal conditions through transformative approaches. These forward-looking reflections and the introduction of new frameworks in international assessments highlight the need for science education to shift from classroom activities to real-world actions, taking the first step towards building a future image as a science education goal to establish new-generation scientific literacy. Policymakers and educators must consider whether existing teaching methods are adequate to equip students with the competencies they need to take meaningful action on critical social issues, thereby advancing a vision of humanistic science in science education.

Keywords: **action competence, socio-scientific issue, scientific literacy, agency, transformation**

壹、前言

我國於2019年8月起正式施行《十二年國民基本教育課程綱要》，首次將國小、國中到高中職國民教育課程做整體性之規劃，課程設計的主軸亦從基本能力的培養轉化為核心素養之發展，各領域的課程發展上亦出現重大變革，例如，自然科學領域特別強調培養學生具備「科學素養」（scientific literacy）之重要性。

「科學素養」一詞最早的起源之一為P. D. Hurd於*Educational Leadership*期刊中所刊登之文章，背景為蘇聯於1957年10月4日率先發射第一枚人造衛星，美國為因應第二次世界大戰後變化莫測的世界局勢，在促進國家科學之發展與人民對於科學的理解，以及針對國民「科學素養」的提升必須有所行動，因而提出「科學素養」一詞，意指教育學生在面對社會中科學與科技發展相關事物時，能理性處理日常生活中所面臨之問題，並於未來負起公民應具備之社會責任（Hurd, 1958）。隨著時序邁入21世紀，科學教育者對於「科學素養」所應具備的功能有更多的期待，也因此，對於「科學素養」的概念呈現不同的詮釋（DeBoer, 2000; Laugksch, 2000）。這些詮釋所賦予的期待，不僅是使學生習得（learned）科學知識（Fives et al., 2014; Millar & Osborne, 1998; Norris & Phillips, 2003），並有能力（competent）將科學知識運用在人與人之間的討論與溝通上（Bybee, 2008; Roberts, 2007; Yacoubian, 2018），更進一步地，能夠在社會上發揮其功能（able to function minimally in society），以達改變社會現況的目標（Feinstein, 2011; Osborne, 2023）。社會性科學議題（socioscientific issue, SSI）在人際間的溝通與社會功能的發揮上是重要的橋梁，藉由非形式推理，學生可針對複雜且結構不良的議題進行分析、評估、討論與辯證（Zeidler, 2014），透過此過程，可使想法在社會性科學議題的脈絡下充分表達，並能藉此過程對他人產生影響。

在科學課室的學習中引入社會性科學議題，藉由立場的表述與證據的提出，透過論據（warrant）結合條件的限制與常範（norm）的支持（backing），進一步在討論與反思的過程中表達不同的立場，確實已成為課室中科學學習的新樣貌（Zeidler & Sadler, 2023）。然而，於課室中的討論，或可使學生表達出對議題的關切（Hodson, 2003），但這些想法與感受卻不一定能成為學生帶著走的能力。

力，即使能帶出科學課室的這道門，亦常僅止於自我保存，無法對真實社會有所影響。正如Kyle（1996）所言：「教育必須從大多數學生在校所經歷的被動、技術性和非政治性導向，轉變為超越課堂和學校界限的主動、批判和政治性的終身努力」（p. 1）。因此，Sjöström與Eilks（2018）提出新一代的「科學素養」（Vision III），強調科學實踐與行動應透過行動技巧與策略的學習、課室外行動導向的專案學習，以及評估這些行動方案、策略、過程與結果來達成（Hodson, 2021）。此種以社會實踐與行動導向的科學教育，其目的便是使學生具備在其社會文化脈絡下決定其生活形式、參與民主社會，並同理他人與團結一致的能力，此乃奠基於中歐與北歐地區所發展出的*Bildung*（德文，可譯為「教化」或「素養」）理念。在新一代的「科學素養」目標下，強調實踐與行動的科學教育可藉由基於*Bildung*的行動能力來達成（Levrini et al., 2021; Mogensen & Schnack, 2010），Jensen與Schnack（1997）所提出的行動能力，即強調學生能在意識到問題的前提下做出個人或集體的決定，並依據其決定在真實的社會脈絡下制定行動方案，逐步達成目標。經由此過程，學生能發展出對問題脈絡的理解、團體與社會的承諾、展望未來的環境以及真實行動的經驗，以學習者為中心，在學習者主動採取行動的脈絡中達成社會的改變（social change）。

近來，經濟合作暨發展組織（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）於2023年發布了2025年國際學生能力評量計畫（Programme for International Student Assessment, PISA），科學評量架構（PISA 2025 Science Framework）的重大變化便是新增科學認同感並加入能動性（agency）的概念，亦發展其對應的評估工具於2025年進行測驗（OECD, 2023）。能動性的展現需要在有目的的條件下，以行動達成目標的能力，亦即在社會結構的約束當中，能動者在時間的流動與面對不同的環境下，考量自身習性後，根據其判斷以對未來的圖像採取變革（transform）的行動，重新建構社會結構（Emirbayer & Mische, 1998）。處於人類世（Anthropocene）¹的當前，科學教

¹ 人類世為在人類居住地球的期間，隨著人類的能力不斷提升，並在科技的幫助下（特別是過去150年來化石燃料的使用），得以主導大部分其他物種和自然景觀。科技、富裕和人口增長的交互作用和加強影響，使科學家將當前時代稱為「人類世」或「人類時代」（Age of Humans），在這個時代中，人類行為正在根本性地改變地球上生命及其維持生命的過程（Crutzen, 2002; Otto et al., 2020; White et al., 2023）。

育除應讓學生對於地球的自然系統有所理解外，也必須相信自己對於目前地球面臨危機所採取之行動將會是有效、被允許且受到他人的賞識與認同（White et al., 2023）。培養學生能尊重不同社會知識文化的觀點，形塑對於未來環境面貌的憧憬與希望，並逐步評估不同的證據以及應用創造性與系統性的思考，進而做出行動的決定，期透過行動達成社會變革的目標。

「科學素養」迄今雖無明確且一致的定義，但在國家發展與社會需求的脈絡下，透過實踐與研究的過程，將被賦予不同之意涵。如今，處於一個充滿高度變動、不確定、複雜且模糊的時代中（Bennett & Lemoine, 2014），面對人類所造成的各種社會環境問題，學生對於科學的學習將不只聚焦在內容知識上，面對各種來源的訊息判斷與實際行動之採取，需要另一個不同於過往的「科學素養」來引領科學教學與學習的目標。這些學習內涵須以*Bildung*之理念為基礎培養行動能力，透過願景和承諾的建立與行動經驗的積累，提升學生做決定、解決真實世界問題的能動性。本研究將透過「科學素養」的內涵發展與新一代「科學素養」之概念，連結*Bildung*與行動能力之要素，最後提出在教學場域培養學生能動性之實踐方式，以導引新世代科學教學之方向。

貳、「科學素養」的緣起與科學教育的倡議

自19世紀開始，科學進入學校系統中，成為歐美國家學校教育的課程之一，我國則於20世紀初將科學納入學校正式教育系統中（陳世文等，2011；DeBoer, 2000），而科學教育的目標即為培養學生具備科學素養（Choi et al., 2011; Laugksch, 2000; Valladares, 2021; Yacoubian, 2018）。「科學素養」一詞最早源起於Hurd（1958）的文章，陳述蘇聯於1957年發射第一枚人造衛星，震驚各國政府外，亦對全球科學的發展造成衝擊。為因應二次世界大戰後世界局勢的變化，對於高度發展的國家而言，教育應促進大眾對於科學的理解，在科學家的努力下，科學發展之成果在過去兩百多年的累積下已成為人類社會文化重要的一部分，針對國民「科學素養」的匱乏必須採取行動，即在教育方式上必須有所改變，而學校教育體系便成為科學教育可產生變革之搖籃（Hurd, 1958）。然而，20世紀中葉以降，學校課程中所傳達的科學內容，仍強調科學是一個客觀、社會真空與價

值中立的知識本體，學習者在過程中學到的是一系列的科學事實與現象的表徵，在科學知識的解釋融貫性與社會關聯性的理解上卻付之闕如（Millar & Osborne, 1998）。於此時代脈絡下，學者們紛紛就學生所需具備之「科學素養」提出其主張，包含科學的文化與歷史脈絡、用科學認識世界的方式、科學於生活之應用、科學性報導的理解、科學職涯的選擇、有教養的公民科學參與、科學美學之呈現、支持科學的公民培育，以及科學與科技之連結（DeBoer, 2000）。

學者對「科學素養」一詞提出不同的詮釋，至今仍無明確的定義（Osborne & Allchin, 2024; Yore, 2012）。學者對於「科學素養」一詞的詮釋隨著社會脈絡而轉變，尤其反映在美國科學課程變革的趨勢上。1983年美國卓越教育全國委員會（National Commission on Excellence in Education）提出《處於危險中的國家》（A Nation at Risk）的報告，強調科學教育應與社會責任結合，促使科學教育學界在課程模式的發展上從「對『教育品質』的要求延伸到對『科學素養』的重視」（蘇宏仁，1997，頁4），將「科學素養」與科學課程改革目標緊密結合。同時，關於「科學素養」內涵的探討也持續不斷地進行著（Laugksch, 2000）。

在科學、科技與社會（Science, Technology, and Society, STS）教育運動邁向蓬勃發展的1970年代，教學現場開始檢討課堂講授、死記硬背與食譜式實驗的不足，教學方法轉向另一種互動式的科學學習，逐漸重視小組任務與討論，並藉此將科學學習置於真實世界的脈絡中（Aikenhead, 1992; Bingle & Gaskell, 1994）。此外，STS教育提供了透過歷史、政治、經濟和倫理的視角探索科學、科技和社會之間聯繫的機會（Hodson, 2010; Zeidler, 2014），使科學教育在培養學生具備公民責任的「科學素養」目標上提供不同觀點的教學方式（Steele, 2014）。

1980年後，建立於STS基礎之上的科學、科技、社會與環境（Science, Technology, Society, and Environment, STSE）教育之倡議已趨於成熟，強調科學與科技的影響不應只在人類社會的活動，更應將其所影響之環境納入（Hodson, 2021; Pedretti & Nazir, 2011）。透過強調環境議題的重要性，除了傳達科學發展對環境所造成的影響外，亦期許科學教育能含括環境科學議題的學習，理解環境問題的影響與成因，以此培養學生對於環境的關懷與責任感。透過納入對於環境的教育於科學教學中，STSE的誕生提供一個脈絡化的平台，使環境教育能依循此脈絡同時發展（Steele, 2014），亦即將環境的問題與議題融入自然科學的教學

中，使學生能學習到有關環境的內容或是在環境中進行學習與探索。1990年代的科學教育透過STS與STSE之倡議，持續在教育體制下發揮影響力，也使大眾明確意識到環境問題對人類社會的影響。

「社會性科學議題」（SSI）一詞的出現，源自1980年代科學教育的零星文獻中，其所倡議的是科學與社會重要事務的連結，雖仍隱含STS傳統中的意識型態，但主要受到哲學、發展心理學與社會學的啟發，而逐漸從STS教育的框架中跳脫（Zeidler, 2014）。因SSI除了包含STS中科學與科技對社會的影響外，更包含議題所呈現的多元樣態中道德與倫理面向的考量，以及情緒發展對於做決定過程中可能造成的影響（Hodson, 2010; Zeidler et al., 2002）。整合科學認識論與議題的道德層面，並納入學生品格與情緒發展的SSI，為科學學習開啟新的思維，透過SSI的教學，環境議題的科學學習更能呈現其豐富且多元的整體性（Herman et al., 2020; Sadler & Zeidler, 2005）。此後，SSI從STS與STSE的倡議中一躍而出，成為21世紀科學教育的主流之一。在科學教育的脈絡下，SSI具有以下四個特性（Zeidler & Sadler, 2023, p. 900）：

- 一、利用與個人相關、有爭議和結構不良的問題，須以科學性、證據為基礎的推理以利於做出決定。
- 二、採用具有社會影響力的科學主題，使學生能進行對話、討論、辯論和論證。
- 三、整合需要某種程度道德推理的倫理構面。
- 四、強調美德（virtue）和品格（character）的形成作為長期的教育目標。

在實踐的過程中，最常被採用的SSI教學與學習方式之一，便是以論證的過程來進行。論證本身即屬一社會過程，學習者在此過程中可理解目前所面對的問題，並透過對於問題理解的表達，進一步以自身主張說服他人（Evagorou & Osborne, 2013; Rudberg & Öhman, 2015）。將論證融入學習的過程中，學習者將有機會運用知識提出論點、與同儕進行討論、理解他人的主張，亦使學習者能從科學的角度看待現象，並積極參與學習過程（Lazarou et al., 2017）。此與我國自

然課綱所闡明，使學生具備科學論證溝通能力，以及道德實踐與公民意識的核心素養項目不謀而合（教育部，2018）。以上科學教育的倡議，與國際組織OECD於2000年起針對其會員國進行跨國性之研究不謀而合（王瑞壠，2002）。OECD於2006年提出科學評量之架構是由情境（context）、能力（competencies）、知識（knowledge）與態度（attitudes）四個向度所構成；在能力的向度上，由形成科學議題、以科學角度解釋現象與科學舉證三項能力所構成（OECD, 2007）。2015年的評量中仍維持三項能力，除了以科學角度解釋現象的項目維持不變外，形成科學議題的項目加入探究之概念，修改為評估及設計科學探究，科學舉證則加入不同主張與證據的分析與評估以及資料表徵的轉換，修正為詮釋科學數據及證據（陳雅君等，2016；OECD, 2017）。這些能力項目均強調在科學領域中SSI的議題脈絡與論證能力的培養。

然而，在過去十多年實施SSI的教學中，學生學習的場域基本上都在學校環境，特別是在科學課室中提出假設性的爭議事件、預設解決的方案與針對立場做出決定（Kuhn et al., 2017; Osborne et al., 2016）。如此之方式雖確實能使SSI長期實踐於課室教學中，但卻阻礙了學習者成為在真實生活情境下以所習得之學科知識和民主意識投入SSI的公民（Chen & Liu, 2024; Zeidler et al., 2019）。因此，學生在此學習脈絡下，其SSI的學習歷程會與真實生活經驗分離，無法瞭解地域性與全球性SSI之差異與重要性。此外，因學習者不需與在議題中受影響的人和環境進行實質性的互動，學生將無法完整地透過感受現實情況而進行學習，也導致學生無法深入探索SSI所觸及的科學思想、認識論以及科學家角色等實踐性工具（Herman et al., 2018）。同樣地，在課室中思考有助於解決SSI的觀點與制定決策時，學生可能無法在社會文化的脈絡下覺知道德敏感度和同情心（Zeidler et al., 2019），也將導致學生誤以為在去除真實社會脈絡下的課室中，致力於解決SSI的問題會等同於在真實世界中進行的樣貌。科學教育的目標並非僅僅讓學習者在社會真空中學習，而應視學習為一種真實的社會過程，因此，行動的理念應該在科學的教學上能有所實踐（廖英凱、劉湘瑤，2024；Levrini et al., 2021; Roth & Lee, 2004）。

參、「科學素養」目標的轉變

在前述STS、STSE與SSI的發展下，「科學素養」呈現了不同的面貌，也使得科學教學者開始將不同「科學素養」的內涵進行檢視與歸類。Norris與Phillips（2003, p. 225）統整各學者過往所提出的「科學素養」定義如下：

- 一、大量的科學內容知識以及科學與其應用的理解。
- 二、區辨什麼是科學的知識和能力。
- 三、使用科學知識解決問題的能力。
- 四、科學學習的自主性和科學性的思考。
- 五、理性地參與科學性社會議題的知識。
- 六、科學本質的理解。
- 七、對科學的好奇心。
- 八、科學所具有的優點與風險的知識。
- 九、批判性地思考與處理科學專門知識的能力。

透過分析上述定義的內涵，Norris與Phillips提出「科學素養」的兩個類目，即為基礎意涵（fundamental sense）與衍生意涵（derived sense）。過往學者對於基礎意涵的「科學素養」較少提及，但基礎科學文本的閱讀（reading）與書寫（writing）卻是完成科學研究與科學事業的重要機制（Anderson, 1999）。閱讀意味著理解、解釋、分析與批判文本，亦涉及應對書面文字中表達的和未表達的內容。寫作是一種理想化的形式，省略了口頭交流中的許多內容，例如語調高低、重複詞、結巴、不完整和中斷的思緒、面部表情與手勢等，並透過構建的形式增加了口頭交流的內容，例如使用句型結構、標點符號、段落、斷詞以及透過緊密的邏輯連結表達前後文意（Norris & Phillips, 2003）。因此，基礎意涵的「科學素養」包含科學閱讀與理解，具備學識與教養則為衍生意涵的「科學素養」，表1呈現基礎與衍生意涵的「科學素養」在科學學習中所含括之內容（Yore et al., 2007）。

表1

「科學素養」兩種意涵

基礎意涵	衍生意涵
認知與後設認知能力	理解科學的大概念與統整概念
批判性思考／合理推理（plausible reasoning）	科學本質
心智習性	科學探究
科學語言藝術（閱讀、寫作、口語、聆聽、觀察及科學表達）	科技設計
資訊通訊技術（ICT）	科學、技術、社會與環境（STSE）之間的關係

註：引自“Language— An End and a Means to Mathematical Literacy and Scientific Literacy,” by L. D. Yore, D. Pimm, and H. L. Tuan, 2007, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(4), p. 568。

Roberts (2007) 則對「科學素養」的分類提出不同的架構，認為「科學素養」可區分為科學範疇內的素養，亦即傳統自然科學中，科學本身的產物與過程，即為第一種「科學素養」的願景（Vision I）。第二種「科學素養」的願景（Vision II）是納入科學範疇外的其他文化以評估與考量科學相關情境的素養，來自於學日常生活可能遭遇含括科學相關情境的特色。Vision II的概念緣起於30年多前針對英格蘭地區的研究，研究報告中指出科學教育應強化科學在特殊社會情境的使用，如此將有助於做出公民社會中的政策決定，例如，能源使用的決定除牽涉科學與科技發展，尚涉及消費者、居民、投資者與社會團體對於其所持有不同文化觀點之考量。正如同Feinstein (2011) 所提出的有能力的局外人（competent outsider）之概念，有能力的局外人考量包含科學範疇以外的情境，使其所做出的決定不僅限於科學框架下，而能透過多元觀點的思考，做出適合當下脈絡的決定。

在Vision I與Vision II的概念被提出後，「科學素養」所隱含的不同概念已引起學者們的興趣。Yore (2012) 藉由合併基礎與衍生意涵的兩種「科學素養」欲提出第三種「科學素養」，但這樣的合併方式在「科學素養」的概念上並沒有新的內涵產生，因此當時未引起多數學者的注意，但此舉已引發學界對於不同「科學素養」內涵的思考。面對不斷變動的教育脈絡與社會發展下，世界各國之研究

者開始思考是否有第三種「科學素養」的存在。Sjöström與Eilks（2018）提出第三種「科學素養」（Vision III），係立基於Vision II而形成的進階形式，強調科學性活動的參與（scientific engagement）與行動中的認知（knowing-in-action），而此種「科學素養」的概念來自於Hodson和Santos兩位學者對於科學教育之倡議。

Hodson（1994）透過以議題為基礎的教學提出批判性科學素養（critical scientific literacy），藉由精緻化以下四個層級，獲致批判性科學素養的達成（Hodson, 2003, p. 655）：

第一級：體認科學與科技在某種程度上是由文化決定的，以及其改變所產生的社會影響。

第二級：認識到科學技術發展的決策是為了追求特定利益，與財富和權力的分配密不可分。

第三級：發展自己的觀點並建立自身的價值觀。

第四級：準備並採取行動。

Hodson對著重科學內容知識的科學教育提出質疑，且基於過往對於公民行動的忽略，因此倡議公民的實際行動參與，期以議題為基礎之學習內容取代去脈絡化之科學學習方式，學生可從中建構與個人相關且有意義的理解，並在科學與科技的實踐中獲取直接經驗。

Santos（2009）採用巴西教育家P. Freire所提出的科學人文的哲學觀，考量知識為人類實踐的產物，主張科學教育須具備社會政治性的內涵，並透過人與人或社群間的對話以傳達不同觀點，期許未來世代能轉變社會現況，使之成為一個能夠享受科學與科技所帶來之便利，同時也能永續發展之社會。其所提出的教學內涵如下（Santos 2009, p. 373）：

一、以SSI討論社會相關之議題。

二、建立課室中的對話過程。

三、使學習者能致力於社會性政治行動。

課室實踐上可由教師選擇SSI之主題，以學生為中心的學習方式，讓學生在SSI脈絡下思考問題的社會面向，透過辯論的對話方式進行；學生可藉由所居住社區環境之現況，討論如何解決問題並改變現況。在教師的引導下，提升學生討論和參與辯論之動機、探討過程中所衍生之價值觀，進一步制定互動與溝通的模式。在行動上，學生可聚焦於平等與社會正義的主題上，透過全球性視野的開展，由行動來達成真正的社會改變。

儘管Santos（2009）已提出結合SSI於科學學習之方式，但在SSI的教學研究中關於行動主義（activism）的討論仍屬罕見，因此需要一個理論架構使社會性政治行動主義成為科學教育的核心。Bencze與Carter（2011）提出「科學與科技教育促進個人社會與環境的福祉」（Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments, STEPWISE）之架構，藉由此架構實現Hodson所提出以參與式研究為基礎提升學生「科學素養」之概念。因此，Bencze（2017）集結以STEPWISE為教學架構之科學教學活動，並歸納這些教學活動之特性如下（Hodson, 2017, p. 7）：

- 一、鼓勵學生表達並討論對重要SSI之理解。
- 二、討論並延伸能對議題產生較佳理解的科學內容知識。
- 三、考量議題背後的社會、政治、經濟與倫理觀點。
- 四、提供學生進行研究議題的機會。
- 五、考量相關且具可能性的直接或間接之行動。
- 六、以個人或集體之方式致力於行動。
- 七、評估所採取行動的有效性與適當性，並與他人交流行動後的發現與評價。

此類教學活動可在與學生生活相關的議題中進行（Bencze & Carter, 2011），例如透過啟發或教育他人、遊說階層體制中的掌權者、改善個人或大眾的生活習慣等，均為一種行動實踐的方式。

透過上述學者所強調Vision III的「科學素養」，我們可發現三種「科學素養」所強調的不同面向。以Aristotle所區分的知識種類為基礎（Roberts & Bybee,

2014），相較於Vision I與Vision II重視理論（*theoria*）與技能（*techne*），Vision III所重視的是實踐（*phronesis*）。從「科學素養」的目標來說，Vision I與Vision II強調的分別是科學的理解與科學知識於生活和社會的應用，Vision III則強調為社會正義、民主精神、永續發展所採取的社會性政治行動。以學習理論而言，Vision II和Vision III更傾向社會文化多元觀點和批判教育學（critical pedagogies）（Gandolfi, 2024）。從學生學習科學的角度言之，Vision I中，學生扮演單純的科學學習者，期望能透過概念改變學習知識與技能，以達科學概念和識讀能力的提升。Vision II中，學生扮演科學倡議者的角色，在社會文化理論（socio-cultural theory）的脈絡情境下學習問題解決的方式與態度，屬於具實用性的科學。學生在Vision III則扮演科學仲介者（broker）（Liu, 2013, p. 29），以批判理論的框架學習如何進行批判性思考、溝通與建立共識，期透過科學使真實世界產生變革性的影響。以上所傳達的「科學素養」理念中，Vision I、Vision II與Vision III分別為未來科學家的科學、全民科學與人文主義科學，整理如表2（Liu, 2013; Sjöström & Eilks, 2018; Valladares, 2021）。

**表2
三種「科學素養」願景的比較**

願景	理念	目標	知識種類	主要內容	科學教育的面向	主要學習理論	學生角色
I	未來科學家	科學性的理解	理論	知識、技能	概念與知識	概念改變	科學學習者
II	全民科學	脈絡化的科學應用	技能	問題解決、態度	實用與程序性	社會文化理論	科學倡議者
III	人文主義科學	社會性政治行動	實踐	批判性思考、變革行動	倫理與變革	批判理論	科學仲介者

肆、Bildung與行動能力

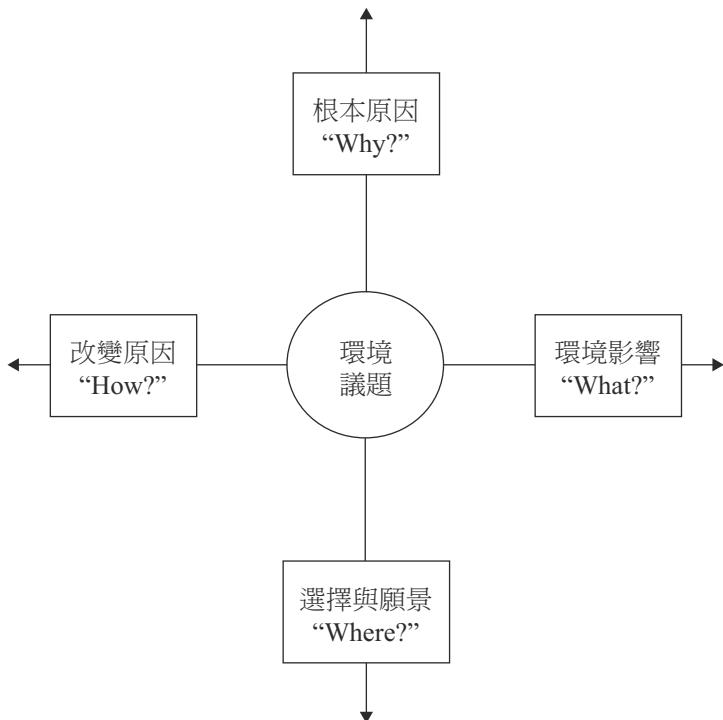
新一代「科學素養」（Vision III）的倡議中，Sjöström與Eilks（2018）指出Vision III的基礎來自一種哲學教育的傳統，稱為*Bildung*，源起於18世紀晚期的斯

堪地那維亞半島的德語地區（即今日中歐與北歐），自德國的新人文主義發展而來，其代表個人發展的過程和結果（Fischler, 2011）。德語單字*Bildung* 與動詞**bilden**和動名詞*Bild*有關，代表圖像之意，動名詞後的後綴詞-*ung*表示我們正在處理一個行動、過程或事件，或者在處理一個事件的完成或結果。因此，*Bildung*一詞意味著我們正在處理一個行動、過程或事件，透過此歷程，某人或某事物成為一個圖像，或者處理在一個行為、過程或事件結束時出現的圖像（Nordenbo, 2002）。以*Bildung*為導向的教育，其目標在使學生具備以下能力（Elmose & Roth, 2005; Sjöström & Eilks, 2020）：一、在其社會文化脈絡下有能力決定自己想要的生活；二、具備參與民主社會的能力；三、與他人相處時能展現同理心與團結一致的精神。因此，*Bildung*在其本質上具備行動與實踐導向的特質，透過科學教育的方式呈現其理念，即為Vision III「科學素養」所要傳達的政治化科學教育，其目標在於解放與社會生態正義的實現，並透過行動與參與的方式使科學教育具有變革性的影響（Simonneaux, 2014; Sjöström & Eilks, 2018）。

為使科學教育能對社會產生變革性的影響，Hodson（2003, 2021）提出議題為基礎的科學教學方式，其最高層次便是採取行動，可增進學生在真實社會情境中獲得主動與協作學習的機會。Liu（2013）所倡議的科學參與，其主要特徵為在社會、文化、政治與環境議題脈絡下的參與過程並產生行動。Santos（2009）基於人文主義的觀點，認為透過課堂中SSI議題的討論與積極對話過程，有助於社會政治行動的討論與執行。Bencze（2017）則指出以議題為基礎的行動導向課程和教學，應讓學生瞭解SSI所含括的科學知識與社會、政治、經濟、倫理等多元觀點的考量，從事個人或集體的直接或間接行動，並對行動的成果做出有效性與適當性的評估。

這些教學方式與新一代「科學素養」和*Bildung*概念的共通點便為行動的實踐，而「行動」一詞在科學教育的範疇中，屬於較為陌生的名詞。Hodson（2010）於其文章*Science Education as a Call to Action*中引用環境教育學者Jensen（2002）對於行動的定義及其行動背後的知識內涵，進一步闡述SSI社會性政治行動的基礎，而行動中的知識內涵在本質上為行動導向的，其出發點為何種知識是需要被聚焦在計畫、執行與評估上。行動導向的知識共分為四個面向（如圖1）：

圖1
行動導向的知識



註：引自“Environmental and Health Education Viewed from an Action-oriented Perspective: A Case from Denmark,” by B. B. Jensen, 2019, in R. Alan (Ed.), *Curriculum and Environmental Education* (p. 287). Routledge。

一、環境影響（effects）的知識：此面向所要問的是「環境問題的種類是什麼？」，此為環境問題中普遍存在的知識，例如於所居住的地區或工作環境中，因不良空氣品質所造成環境影響的相關知識。因此，具備此面向的知識可使學生做出「若我們持續發展石化工業，那麼空氣汙染就會發生，或是空氣汙染產生的風險就會增加」的陳述。因該面向的知識會喚起學生的關注，適合作為行動產生的出發點，為發展行動的必要條件。然而，此種知識在本質上是科學性的知識，在沒有解釋為何會有這些問題或是要如何解決這些問題的情況下，將造成學生過於擔憂並可能產生行動無力感（action paralysis）（Jensen, 2019）。

二、根本原因（root causes）的知識：此面向所要問的是「為什麼會有這些環境問題？」，既以探討環境問題的原因，也包含行為背後的驅動因素，此種知識包含社會、文化、政治與經濟學的範疇，學生可能會問的問題，例如：「威脅我們的空氣品質原因是什麼？為什麼這麼多人使用家用汽車而不使用大眾運輸工具？」。

三、改變策略（change strategies）的知識：此面向討論的是「如何改變現況？」，透過生活方式的改變以及如何對社會中持續改變的生活環境產生貢獻，例如「如何改變一個人生活方式？如何改變學校與社區生活的結構？這些事要尋求誰的幫助？要與誰共同合作才有機會達成？」均為制定行動策略的過程中可能會提出的問題，以瞭解要如何透過促進合作與分析社會權力間的關係來達成，這些問題通常會涉及心理、政治與社會學的範疇。

四、選擇與願景（alternatives and visions）的知識：此面向討論的是「未來要往哪邊前進？」，透過不同方案的規劃與選擇，學生將形塑與發展未來生活、工作、家庭以及社會的藍圖，並且在教師與社區資源支持其實踐的過程中，瞭解學生如何在不同的文化與環境下採取行動。此外，達成行動目標的相關知識更是有助於願景的發展，引導後續行動的開始。

透過行動導向知識的理解，在環境議題的考量上將更為全面，不致受限於讓學生知道環境被破壞的現況而感受到自身能力的渺小，進而導致無力感，如此無助於環境問題的解決。其後，Hodson（2021）便以Jensen與Schnack（1997）所提出行動能力的概念，作為學生面對社會性科學議題應採取行動時所需之能力（Laherto et al., 2023）。行動能力以*Bildung*的哲學概念為基礎，是一種教育哲學上的理想型（an educational philosophical ideal），強調的是以行動為導向（action-oriented）作為教與學的認識觀（Mogensen & Schnack, 2010）。所謂行動，是指在有意識的（conscious）狀況下進行，這些行動是經過考慮並且有目標性的，可根據動機與理由去理解和解釋行動，亦即行動是有意圖的（intentional）。能力是指具備一定才能與意願而具有資格。組成行動能力的四個關鍵要素分述如下（Jensen, 2000; Jensen & Schnack, 1997）：

一、見解與知識（insight and knowledge）：包含學生獲得對其所關注的問題上具有融貫性的（coherent）知識，以及有關於問題本質與範疇之知識。正如前

述的四個面向，首先，包含本質上為科學性的環境影響知識，聚焦於「環境問題的種類是什麼？」，第二個面向為追究影響來源的根本原因，深究「為什麼會有這些環境問題？」，以及在面對問題時所需採用之改變策略，重點在「如何產生改變？」，最後一個面向為達成未來環境的選擇方案與憧憬，思考「未來要往哪邊前進？」。

二、承諾（commitment）：若獲得的知識要移轉至行動上，承諾的建立就很重要，因承諾可增強學習者的動機，提升投注行動時的驅力（drive）與果斷（assertiveness），若沒有承諾與勇氣，環境問題知識的吸收便無法轉變為行動。承諾的形成常在社會脈絡下逐漸發展，因此小組成員合作的學習環境對於行動的形成相當重要。

三、願景（vision）：發生在自己生活中特別關注的問題上，傳達在什麼樣的條件下可以改變現有狀況，使未來的社會與環境可以呈現何種面貌的觀點。此要素所要處理的是學習者對他們成長歷程與未來生活所處社會環境的感受、想法與對未來的夢想（Levrini et al., 2021）。學生若有機會與他人討論、發展、共享和參與未來願景的發展，這將會是他們渴望去行動與建立歸屬感的必要條件。

四、行動經驗（action experiences）：學生需要以個人或集體的方式參與並處理真實生活所遭遇的問題，並且考慮如何克服過程中所遇到的阻礙。透過互動的過程，可培養個人自信與小組協作的能力。此過程可連結知識、情緒、價值觀以及行動。在學校的教學脈絡中，學生可受益於自身所採取的具體行動，以獲得經驗並提升社交技巧。

科學教育的重要目標為促進公民參與社會之技巧與提升其所應負起之責任感，雖然行動能力已大量用於民主、環境與永續教育上，但於科學課程中實際應用的教學卻極為罕見（Blandford & Thorne, 2020; Chen & Liu, 2020; Jensen & Schnack, 1997; Laherto et al., 2023）。Roth與Lee（2004）將行動能力的概念置於科學課程中實踐（Branchetti et al., 2018; Levrini et al., 2021），其以文化歷史活動理論為架構，對環境行動者、流域相關活動及其集體實踐活動進行個案研究。為時二到四個月的時間，社區人員協助學生於社區進行專題計畫任務，也利用科學課程時間讓學生進入社區中進行調查，學生利用不同工具將調查之資料帶回學校，並請專家協助觀察與分析。在此過程中，常可觀察到學生幫助他人蒐集資

料、理解細節、解釋結果和形成未來的行動計畫，且於校園日的成果發表活動，進一步與社區居民分享行動成果，透過互動改變居民對於當地水質與流域環境的態度與實踐行為。

社區在此過程中成為一個具備情境式的知識散布場域，學生在參與過程中不需擅長科學的每一個領域，個體所須做的是參與群體的活動，當他們需要這些知識時，便可透過社區中的行動及其與他人的互動形塑知識，並藉由其所獲得之科學知識對議題的參與產生貢獻，以助於後續的行動與終身的參與。因此，Roth與Lee（2004）提出了下列將行動能力概念融入科學教育中，以作為重新架構科學素養的倡議：一、任何的人類知識與活動均建構於社會之中，因此「科學素養」具有集體（*collective*）之特徵，不可縮減至個體的維度上；二、科學知識只是政治、經濟、社會等眾多知識流派中的一種，解決問題需要各種知識的連結；三、貢獻己身之力於社區的相關議題中（如環境監督與環境運動），將有助於終身參與的實踐。

伍、能動性的緣起與批判性科學能動性

實踐層面上，Roth與Lee（2004）透過對於「科學素養」的反思，將行動能力的概念融入科學課程中，在理論層面上，Hodson（2003）亦透過科學課程的反思進行行動之倡議，促使能動性（*agency*）的概念開始於科學教育領域中萌發。所謂「能動性」，根據王俊斌（2022）的簡要定義，即「採取某些行動，進而造成一定效果之能力」（頁10）。能動性的發展，便是藉由參與生活與科學相關議題的重要行動逐漸成形（Branchetti et al., 2018; Levrini et al., 2021）。也因此，藉由提升學生行動的能力，便能達成發展學生能動性的目標。針對「能動性」一詞，社會學領域提供了較為豐富的研究論述，不論是傳統結構決定論者所提出社會決定人類行為之論點，抑或是Marx論者認為生產勞動或是技術工具對人類產生宰制性的關係，均忽略人類具備某些掙脫與修正壓迫性制度的能動性（王俊斌，2022）。或是如Ramjewan等人（2017）所言，「能夠以有意義且有目的性的方式行動，影響他們的世界及其所生活的社會」（p. 290）。簡而言之，採取行動的表現狀態，即為能動性，便是在時間不斷流動（flow）中逐漸開展其行動，

由能動者（agent）自身反省監控，運用其所擁有的知識與權力採取行動，以達成其社會實踐（social practice）目的的連續性歷程（黃嘉莉等，2020；Chatterjee et al., 2019）。達成社會實踐的過程中，同時也會受到社會結構相對的約束（constraining）與賦能（enabling）之影響（姜添輝，2010；Giddens, 1984）。社會結構由規則系統組成，這些規則系統構成了社會行動的方式，行動者用這些規則來結構化並調節他們在特定情境或活動領域中的互動（Otto et al., 2020）。根據不同能動者所持有的創造與反思能力，能以行動轉化社會結構的限制條件，但同時也能在物質與社會環境的約束與賦能下展現其能動性（Priestley et al., 2015）。正如Giddens（1984）所言，「結構不應等同於約束，而是同時具有約束和賦能的作用」（p. 25）。對所有能動者而言，行動意味著從未來對現在的存在狀態產生連結，透過事先預見（foresight）的方式，一旦能動者採取行動，如此之連結便會產生意義，除了自身成為具有能動性的主體（subject）外，也需將此能動性和他人共享，促進集體之行動（Latour, 2014; Levrini et al, 2021）。

前述採用行動與行動能力概念的研究中，雖已隱約呈現能動性之概念，但有系統且明確使用「能動性」一詞於「科學素養」發展的研究卻不多，且能動性在科學教育的研究中，一直缺乏一個明確的操作型定義，因此，如何在科學教育中實踐也僅有極少數研究呈現（Arnold & Clarke, 2014; Schenkel & Calabrese Barton, 2020）。以下將透過回顧科學教育領域中使用批判性科學能動性（critical science agency）的相關研究，來形塑科學教育中目前較為明確且有一致性使用「能動性」一詞研究的概念。

Basu等人（2009）借鏡數學教育的理念，提出「批判性科學能動性」一詞，也就是當一個人認為自己是一個有能力的科學思考者與行動者（scientific thinker and doer）時，便會以批判性的心智（mindset）看待這個世界，並展望如何經由科學改善或改變這個世界，使之成為一個具備社會正義與平等的地方，並嘗試以此理念回應公民權與民主參與在「科學素養」中之爭議，以及學生普遍缺乏公民「科學素養」的現狀。該研究以高中物理學科為脈絡，透過批判性民族誌的取向，呈現曾被停學的學生在教師向該生父親每週瞭解該生學習科學的狀況與想法後，透過教師連結學生過去經驗與實際參與科學活動，塑造學生藉由機器人的學習以保護家人並對抗恐怖分子的目標。從參與機器人競賽為起始點，到主動徵集

同儕參與醫藥工程教學，並將其所學以行動貢獻他校學生的學習，在這個過程中，該生從問題學生成為教學者，將其投注於機器人研究的科學內容與將機器人用於社會安全的想法影響他人，並建立相關社群擴大影響力。另一個案則為成績頂尖之學生透過一次暗物質與暗能量的科學辯論會，學習如何規劃科學學習活動，之後更參與了科學展覽競賽，並表達未來成為科學家的想法，證明黑人也能夠在科學上有突出的表現。批判性科學能動性與學生認為他們是誰及要如何改變的認同感具有密切的相關，過程中不但瞭解社會資源的分配外，並重複修正與擴充其知識及認同感。

在氣候變遷的議題上，McNeill與Vaughn（2012）為三所都市學校的高中生設計四至六週的城市生態課程，針對學生的概念理解、信念與環境行動進行評估。結果顯示，大部分學生均相信氣候變遷正在發生，且學生於課程進行後，在知識的吸收與環境行動的執行上均有顯著提升，多數學生採取行動以減少對氣候變遷的影響，具體行動包括使用節能燈泡、減少水電的使用，並參與更多的回收過程。環境行動的增進顯示課程焦點應放在人類對環境之影響，單純相信科學理論並不足以促進學生的批判性科學能動性。學生必須對科學概念有深入理解，並且需要知道如何將這些知識應用到實際行動中，應具備科學理解和採取行動的能力，才能成為積極的社會變革者。Schenkel與Calabrese Barton（2020）以相同的研究方式觀察兩個小組的國小學生在工程科學的學習與應用過程中，集體批判性科學能動性的展現。第一個小組為使科學課程變得有趣，以活動方式幫助同學能在輕鬆的狀態下學習，因此設計了帶有LED燈的凌波棒。這些燈以並聯電路連接，並以手搖發電機供電，有效地增強了課堂的互動性和趣味性，學生們不僅在工程科學技術上有所進步，還透過設計工作加深了對社會問題的理解，挑戰了傳統學校中對學習目的的認知。另一組則製作一個帶有LED燈的「成就板」，當學生的各種成績被貼上去後，用手搖發電機點亮這些燈，表彰班上學生的成就，並激勵更多學生積極參與學習。透過這個設計，學生從同儕的調查中設計問題解決方案，並挑戰了學校中關於學術至上的傳統權力結構，創造了一個更加公平和正義的環境。他們不僅促進了班級中的成就認可，還鼓勵學生透過努力，為自己和他人的成功感到驕傲。

這些行動的展現不僅止於學生理解自身所遭遇到的問題，更能從所在的學校

與社區調查中瞭解在地社群所遭遇到的問題。Schenkel等人（2019）以參與式的批判性民族誌瞭解國中學生如何在學習過程中，將其對社會正義的理解與他們的科學知識和實踐結合，從而挑戰並改變科學社群內的知識權威和教學方式。研究分析在一個綠色能源的單元中，學生如何透過工程設計實踐批判性科學能動性。第一組學生運用電路概念設計了一個手搖發電的電子佈告板，以增加同學們學習的成就感並提升班級士氣，該設計不僅解決了能源問題，還回應了班級中學生缺乏認同感的社會問題。另一組學生透過對所在社區居民的需求調查，設計太陽能板供電的回收箱，能以語音提醒人們進行回收，並用有趣的設計吸引人們參與回收行動，展示了學生如何運用自身科學和社區知識以解決社區中的重要問題，並瞭解如何透過設計社區問題解決方案促進環境與社會正義。Basu與Barton（2010）研究中學生的環境科學課程，學生專注於研製可生物分解與設計適合包裝油性食品的材料，透過科學概念與環保行動的結合，將其與日常生活中的問題聯繫起來，從而增加對科學知識的掌握並提高社會責任感，將所學知識應用於解決社區所面臨的實際問題。這樣的學習過程不僅提高了學生對科學概念的理解，且幫助學生發展批判性思維和解決問題的能力，促進學生在社會中的角色轉變，體現學生不僅是科學知識的接受者，更是社會變革積極推動者的理念。

Gyles（2024）與中學教師共同設計社區導向的科學課程，學生進行四個單元的專案學習（project-based learning），這些單元都聚焦於解決學生在社區中遇到的真實問題，並讓學生意識到他們能夠透過學習科學來促進社區變革，而不僅止於識別問題。第一單元探討健康與營養的主題，學生需要分析食物的營養價值，以改進他們日常飲食的健康性，同時也進行社區調查，瞭解不同地區居民在速食店、雜貨店與農夫市集的食物選擇和獲取途徑，並對食品正義的議題進行反思。第二單元圍繞全球疫情下的生活條件，學生學習疫情期間的健康差異，並提出改善家庭健康環境的主張，讓學生認識到疫情如何影響不同社區的健康資源分配和不平等現象。在第三單元中，學生從空氣、廢棄物與塑料汙染的社會性科學議題中提出一個具體問題進行議題的研究，透過這些研究，學生不僅要理解科學現象，且須提出切實可行的解決方案，並把研究結果撰寫成倡議信（advocacy letter），提交給社區代表人與相關組織，成為引領社區產生變革的能動者。在第四單元的光汙染與綠地空間平等主題中，學生自主選擇一個他們認為影響社區的

問題，設計一個專案進行研究，並負責專案的每個階段，從選擇問題到決定如何呈現研究成果，例如社交媒體簡介、演講、藝術作品或行動計劃書等形式。學生在這些專案學習中，不僅學習了科學知識，還發展了應用科學來解決社區問題的技能，這使他們在現實世界中成為積極的社會參與者和問題解決者，使學生培養並展現批判性科學能動性，運用所學的科學知識推動社會和環境正義。

「批判性科學能動性」之所以被賦予「批判性」一詞，是因其在能動性的表現上採取更明確的政治立場，亦即社會政治行動的展現（Santos, 2009; Schenkel & Calabrese Barton, 2020）。在Iversen與Jónsdóttir（2019）的研究中，教師於科學課程帶領學生進行表層土侵蝕的科學觀察，發現當地列為紅色名錄中屬瀕危的小辯鶲（*Vanellus vanellus*），透過學生在課堂中進行小組討論與論證後，將其共識向當地政府單位發表，並針對該物種棲地的議題進行討論，提供決策者物種棲地安置的建議。在此過程中，學生將其所觀察的結果與研究歷程作為其主張的基礎，藉由科學觀察、論證並結合實際社會政治行動，除了體現公民科學的作為外，也展現其影響政府決策之能動性，對環境生態正義產生變革性的影響。

陸、能動性對科學教學與評量的啟示

「能動性」一詞近年於教育領域受到矚目，與OECD自2015年起啟動之《2030年教育和技能的未來計畫》（Future of Education and Skills 2030 project）密不可分（OECD, 2018）。該計畫源自OECD於1997-2003年所制定的DeSeCo（Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations）計畫（OECD, 2002）。2015至2019年，探討現今的學生需要哪些知識、技能、態度和價值觀，才得以茁壯成長並塑造未來，以實現更美好的生活以及個人與社會的福祉。2019年後，著重於如何設計培養這些能力的學習環境，亦即如何有效地實施課程，並期望這些課程能培養學生的不僅僅是關鍵能力（key competencies），更應是變革能力（transformative competencies）的發展（OECD, 2019a）。面對一個複雜、易變與不確定的社會，學生以其所發展的能力面對問題、展現行動並影響現況以產生變革，正如依循羅盤的指示前行，而此羅盤並非事先安排好的學習方向，而是當學生具備變革的能力時，能在不熟悉與陌生的環

境中自我導引前進，如此行動的過程，便為能動性的展現。因此，能動性為「有能力架構導引之目的，並確認達成目標的行動」（OECD, 2019b, p. 4），其歷程並非接受他人的選擇與決定而採取行動，以達成他人設定的目標，而是學生主動採取行動並形塑自己的未來，對自己的選擇與決定負責。對學生來說：

當他們在學習歷程中成為能動者時，亦即在決定學習內容和學習方式時扮演主動的角色，他們往往會表現出更強烈的學習動機，並且更有可能確立學習目標。這些學生也更有可能「學會如何學習」，這將是他們可以終其一生使用的寶貴技能。（OECD, 2019b, p. 2）

2023年，OECD正式發布2025年國際學生科學能力評估計畫架構（PISA 2025 Science Framework）後，架構本身有了重大改變。首先，原本於PISA 2015/2018的三項科學能力（science competencies）中，除了第一項「以科學角度解釋現象」維持不變外，另兩項合併為一項，即為「建構與評估科學探究的設計，並以批判角度解釋資料與證據」，第三項新增之項目則為「研究、評估與使用科學資訊以做出決定與行動」，強調在評估資訊後做出決策與採取行動的能力（OECD, 2023）。此外，相較於2015年強調態度（attitude）對個體能力表現上的影響（OECD, 2017），2025年在此向度上轉為聚焦於科學認同感（science identity）的構面，除了既有的態度與傾向外，亦包含科學資本與認識論信念，並在環境向度上，除了既存的環境覺知，亦納入環境關懷以及能動性的評估（Deta et al., 2024）。最後，在既有的科學能力為基礎之脈絡下，環境科學能力（environmental science competencies）首次出現在PISA的評估中，其源起於成長於人類世的年輕族群，在氣候變遷的世代中，需要傳達永續議題的一系列能力（OECD, 2024），而環境科學能力便可傳達人類世中能動性（agency in the Anthropocene）的概念。PISA 2025評量架構中，環境科學能力所含括的項目如下（OECD, 2023, p. 50）：

一、解釋人類與地球系統相互作用的影響。

二、根據對不同證據來源的評估以及創造性和系統思維的應用，做出明

智的行動決策，以重建和維護環境。

三、在尋求社會生態危機的解決方案中，表現出對多元觀點的希望和尊重。

第一項環境科學能力將在第一項科學能力的測驗中被評估，用來瞭解學生是否能解釋與應用關於環境中的物理、生命與地球系統彼此間的交互作用，並在加入社會、文化與經濟因子後，在時間軸上瞭解人類的價值觀和社會規範與其互動後的影響（Fisher & Parsons, 2020）。第二項環境科學能力則在第二與第三項科學能力的測驗中被評估，強調學生在社會生態議題上藉由批判性的思維評估多元證據的來源，以創造性與系統性思考之方式設計解決方案，期透過個人與集體的民主程序做出決策，並在設定目標後以協作的方式採取行動，以達成不同程度的改變。提出解決方案的關鍵，便是超越問題的表象，著眼於根本原因（Jensen, 2019），而行動可透過直接與間接的方式來達成，個人的力量如何透過共識凝聚成集體公民的力量，便是影響系統層次改變的要素（Alisat & Riemer, 2015）。第三項環境科學能力則屬非認知領域，僅能透過科學認同感來測量，此能力立基於生態中心的世界觀，從而發展對生態倫理的關懷，並強調人類不可能脫離環境而生活（Nichols, 2020）；人類應為社會生態危機進行培力，並能在過程中以個人與集體的方式展現韌性、希望與效能感，同時尊重他人對於議題的多元觀點與尋找不同的解決方案。除了環境知識外，希望感的連結為促進環境問題參與和解決的重要因素（Ojala, 2012），透過集體的民主參與行動，將能有效地傳達不同的想法，並在尊重多元意見的過程中，共同解決問題（Iversen & Jónsdóttir, 2019; Olsson et al., 2020; Piasentin & Roberts, 2018）。

對於地球生物與環境系統間的交互作用及其影響，為科學教育一直以來所強調的學習重點，不論是在新世代科學標準（Next Generation Science Standard Lead States, 2013）或K-12科學教育架構（National Research Council, 2012）所提及的跨科概念，抑或是在我國自然科學課綱所強調的思考智能與問題解決的學習表現項目中（教育部，2018）。這些強調的內容除了反映學校教學的現況，也反映在學生科學學習的評量中，同樣地，證據的評估反映在因果關係的推理上，亦是如此。然而，現今的「科學素養」不僅是期望學生能夠具備如此之能力，更期

待學生能意識到問題的存在，於尊重多元觀點的文化脈絡下，展現對生態關懷的倫理以及希望與效能感，除了透過個人，更能夠以集體的方式投入問題的解決，達成不僅是地區性、更是全球性的影響（Feldman, 2020）。丹麥學者Jensen與Schnack（1997）以其執行北歐地區環境教育計畫（“MUVIN” project）的經驗，提出「行動能力」（action competence）的概念，針對行為、行動與活動做出區別，並定義行動為意識到問題的存在後，有目的性地進行問題的解決。在行動的要素中，強調根本原因對於問題解決的重要，在承諾的要素上，強調集體之行動可達成之影響，願景上則強調未來圖像的形塑，而行動經驗的培養上，則強調在真實世界中獲取之經驗與社交技巧。Finnegan（2023）指出，希望感與行動能力中的願景、承諾、行動經驗以及知識的次要素具有顯著的相關性，White等（2023）更於其研究中引用Jensen與Schnack（1997）所提出之行動能力概念闡述第二項與第三項環境科學能力，顯示學生行動能力的發展將於以科學為主測科目的PISA 2025中扮演重要角色。

對於科學教育領域，「能動性」一詞仍是個相對陌生的概念。Levrini等人（2021）指出，使學習者參與重要的行動便是能動性發展的關鍵，在課程目標的設定上，以行動過程中可培養之能力為依據，並融入未來導向的思考（future-oriented thinking），以促進學生能動性的發展（Ferguson, 2022; Laherto et al., 2023）。劉湘瑤（2022）指出，行動能力取向的課程設計可以高雄市文府國小翻轉空汙的全校式課程為範例，該校師生長期飽受空氣汙染，在屢次向環保局檢舉無效後，便採取公民科學家的角色，同時作為科展專題；他們蒐集學校周邊雨水，發現其為鹼性，經由與氣象局與環保局監測資料比對，證實為東南水泥廠運轉時所產生之排放物造成。此教學案例是透過證據的蒐集後，發起全校師生與在地社區居民的空汙連署與遊行，促使市政府召開公聽會，修正「高雄市水泥業空氣汙染排放加嚴標準」，以法制面共同塑造未來居住之環境（杜文苓、周晴萱，2018）。此類行動亦可見於國立臺南大學附設實驗國民小學的彩虹斑馬團隊，透過農村課程的設計與立委陳情書撰寫之方式，要求農業部將進口紐西蘭液態乳之相關法案與配套措施加速完成，減少對於國內酪農產業之影響（蔡文居，2024；蔡佩珈，2024）。此外，對於未來願景的表達（visioning exercise），以低碳的未來為例，可請學生寫下對於未來能源使用、運輸與農業發展的想像，但需包含

不同的社會、文化、經濟與環境之觀點，並思考要採取何種行動才能達成其所憧憬的願景（Ferguson, 2022）。

雖然在PISA中，「能力」一詞使用的是competency，然而，若要能夠在教學場域中發展「行動能力」（competence），需要能夠進行評量的工具以作為教學現場的評估（劉湘瑤、張俊彥，2018）。至於要如何設定標準而進行觀察或評量，便是科學教育者的首要任務。因此，新的「科學素養」評量倡議「評估接受科學教育的學生對於環境議題的知識、關懷與具備行動的能力」（White et al., 2023, p. 3），期待學生在人類世中展現其能動性，能夠「以希望與效能在個人與集體層面上產生作用，以理解社會生態系統上的多元觀點，並創造一個更為正義和有韌性的未來」（White et al., 2023, p. 3），這將是未來我國科學教育方向與課綱執行應參考之方向。

柒、結語

在新課綱中強調透過學習與生活的結合以達到社會實踐的目標下，科學課程應納入社會性科學議題的討論，學生除了應用科學知識提出論點，還需透過共同決策的過程制定行動策略，並透過未來圖像的描繪，在一次次的行動中凝聚集體之承諾，展現行動所能創造的未來憧憬。若科學的學習僅止於課室與實驗室中，將無法使學習連結至社會的層次，更遑論追求文化發展、社會正義與生態永續的公民責任與目標，甚至建構理性社會與永續環境（教育部，2018, 2021）。因此，Vision III「科學素養」的提出，解放過往科學素養一直以來所呈現科學的教與學囿於科學課室與實驗室的困境，使科學的學習不再處於社會真空中，而是可以透過社會實踐的過程，在多元文化與脈絡的薰陶下，培養所需的行動能力，建立學習者的能動性，逐步促使社會的現況與價值觀產生變革，達成實現人文主義科學之目標。

致謝：本研究為國家科學及技術委員會（前科技部）補助專題研究計畫（計畫編號：NSTC 113-2410-H-142-002-與MOST 111-2410-H-003-010-MY3）之部分研究成果，於此特申謝忱。

參考文獻

- 王俊斌（2022）。能動性、能力統整與課程轉化——社會領域探究本位學習方法之研究。*教育與多元文化研究*，26，1-47。https://doi.org/10.53106/20780222022110026001
- [Wang, C.-P. (2022). Agency, competencies integration, and curriculum transformation – Research on inquiry-based learning methods in social studies. *Journal of Educational & Multicultural Research*, 26, 1-47. https://doi.org/10.53106/20780222022110026001]
- 王瑞壠（2002）。OECD組織PISA評量對國小數學與科學教育之啟示。*科學教育研究與發展季刊*，27，39-55。
- [Wang, J.-H. (2002). The reflection of mathematics and science education from the OECD/PISA. *Research and Development in Science Education Quarterly*, 27, 39-55.]
- 杜文苓、周晴萱（2018）。「戰鬥」與「保護」：高雄文府國小翻轉空污！。環境資訊中心電子報。https://e-info.org.tw/node/211132
- [Tu, W.-L., & Chou, C.-H. (2018). Fighting and protecting: Wenfu elementary in Kaohsiung turns the tide on air pollution!. *Environmental Information Center Newsletter*. https://e-info.org.tw/node/211132]
- 姜添輝（2010）。影響結構與施為之間互動關係的媒介物：小學教師的專業認同與文化知覺分析。*臺灣教育社會學研究*，10（1），1-43。
- [Chiang, T.-H. (2010). The medium for influencing the interactive relations between structure and agency: An analysis of primary school teachers' professional identity and cultural awareness. *Taiwan Journal of Sociology of Education*, 10(1), 1-43.]
- 教育部（2018）。十二年國民基本教育課程綱要國民中小學暨普通型高級中等學校—自然科學領域。https://cirln.moe.edu.tw/Upload/file/27888/82352.pdf
- [Ministry of Education. (2018). *Curriculum guidelines of 12-year basic education for elementary school, junior high and general senior high schools– The domain of natural science*. https://cirln.moe.edu.tw/Upload/file/27888/82352.pdf]
- 教育部（2021）。十二年國民基本教育課程綱要—總綱。https://edu.law.moe.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL002057
- [Ministry of Education. (2021). *Curriculum guidelines of 12-year basic education– General guidelines*. https://cirln.moe.edu.tw/Upload/Website/11/WebContent/35949/

RFile/35949/96198.pdf]

陳世文、楊文金、古智雄（2011）。從格致到科學——西方科學傳入中國對科學教育的啟示。*科學教育月刊*, 343, 2-17。https://doi.org/10.6216/SEM.201110_(343).0001

[Chen, S.-W., Yang, W.-G., & Ku, C.-H. (2011). The impacts and implications for the introduction of western science to China. *Science Education Monthly*, 343, 2-17. https://doi.org/10.6216/SEM.201110_(343).0001]

陳雅君、洪瑞兒、余曉清、林煥祥（2016）。臺灣學生科學素養與科學教學者研究成果表現之發展趨勢探討。*科學教育學刊*, 24(4), 333-354。https://doi.org/10.6173/CJSE.2016.2404.01

[Chen, Y.-J., Hong, Z.-R., She, H.-C., & Lin, H.-S. (2016). Exploring the trend of Taiwan students' scientific literacy and science educators' research performance. *Chinese Journal of Science Education*, 24(4), 333-354. https://doi.org/10.6173/CJSE.2016.2404.01]

黃嘉莉、桑國元、葉碧欣（2020）。十二年國民基本教育課程改革中教師能動性之使動與制約因素：社會結構二元論觀點。*課程與教學*, 23(1), 61-92。https://doi.org/10.6384/CIQ.202001_23(1).0003

[Huang, J.-L., Sang, G.-Y., & Ye, B.-X. (2020). The enablement and constraint factors on teacher agency of 12-year basic education curriculum reform: A perspective of social structure duality. *Curriculum & Instruction Quarterly*, 23(1), 61-92. https://doi.org/10.6384/CIQ.202001_23(1).0003]

廖英凱、劉湘瑤（2024）。從傳道至參與：科學教育的民主脈動。*科學教育月刊*, 474, 19-34。

[Liao, Y.-K., & Liu, S.-Y. (2024). From preaching to participation: The democratic pulse of science education. *Science Education Monthly*, 474, 19-34.]

劉湘瑤（2022）。跨科議題的課程與教學。載於黃鴻博（編著），*國小自然科學教材教法*（頁129-144）。五南。

[Liu, S.-Y. (2022). Curriculum and instruction on interdisciplinary issues. In H. P. Huang (Ed.), *Teaching materials and methods for elementary science* (pp. 129-144). Wu-Nan Book.]

劉湘瑤、張俊彥（2018）。論自然科學課程綱要中的「素養」內涵。*科學教育月刊*, 413, 2-9。https://doi.org/10.6216/SEM.201810_(413).0001

[Liu, S.-Y., & Chang, C.-Y. (2018). Connotation of scientific literacy in science curriculum guidelines. *Science Education Monthly*, 413, 2-9. https://doi.org/10.6216/SEM.201810_(413).0001]

- 蔡文居（2024）。南大附小3校學生推廣肉品標章及國產鮮乳 寫信向立委陳情。自由時報。<https://news.ltn.com.tw/news/Tainan/breakingnews/4618474>
- [Huang, W.-J. (2024). Students from NUTN-affiliated and two other elementary schools promote meat labeling and domestic fresh milk, petition legislators by letter. *The Liberty Times*. <https://news.ltn.com.tw/news/Tainan/breakingnews/4618474>]
- 蔡佩珈（2024）。小學生關切紐西蘭牛乳進口 發信請立委修法更名「長效乳」。工商時報。<https://www.ctee.com.tw/news/20240508701184-431401>
- [Tsai, P.-J. (2024). Elementary School Students Concerned About Imported New Zealand Milk, Urge Legislators via Letter to Rename It as “Long-life Milk”. *China Times Group*. <https://www.ctee.com.tw/news/20240508701184-431401>]
- 蘇宏仁（1997）。美國科學教育的改革——回顧、前瞻與借鏡。《科學教育月刊》，200，2-11。
- [Su, H.-J. (1997). The American science education reform: A retrospect, outlook and modeling. *Science Education Monthly*, 200, 2-11.]
- Aikenhead, G. S. (1992). The integration of STS into science education. *Theory into Practice*, 31(1), 27-35. <https://doi.org/10.1080/00405849209543521>
- Alisat, S., & Riemer, M. (2015). The environmental action scale: Development and psychometric evaluation. *Journal of Environmental Psychology*, 43, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.05.006>
- Anderson, C. W. (1999). Preface: Inscriptions and science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 973-974. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199911\)36:9<973::AID-TEA1>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199911)36:9<973::AID-TEA1>3.0.CO;2-C)
- Arnold, J., & Clarke, D. J. (2014). What is “agency”? Perspectives in science education research. *International Journal of Science Education*, 36(5), 735-754. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.825066>
- Basu, S. J., Calabrese Barton, A., Clairmont, N., & Locke, D. (2009). Developing a framework for critical science agency through case study in a conceptual physics context. *Cultural Studies of Science Education*, 4(2), 345-371. <https://doi.org/10.1007/s11422-008-9135-8>
- Basu, S. J., & Barton, A. C. (2010). A researcher-student-teacher model for democratic science pedagogy: Connections to community, shared authority, and critical science agency. *Equity & Excellence in Education*, 43(1), 72-87. <https://doi.org/10.1080/10665680903489379>
- Bencze, L (2017). *Science and technology education promoting wellbeing for individuals*,

- societies and environments*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8>
- Bencze, L., & Carter, L. (2011). Globalizing students acting for the common good. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6), 648-669. <https://doi.org/10.1002/tea.20419>
- Bennett, N., & Lemoine, J. (2014). What VUCA really means for you. *Harvard Business Review*, 92(1/2). <https://hbr.org/2014/01/what-vuca-really-means-for-you>
- Bingle, W. H., & Gaskell, P. J. (1994). Scientific literacy for decision making and the social construction of scientific knowledge. *Science Education*, 78(2), 185-201. <https://doi.org/10.1002/sce.3730780206>
- Blandford, R. D., & Thorne, K. S. (2020). Post pandemic science and education. *American Journal of Physics*, 88, 518-520. <https://doi.org/10.1119/10.0001390>
- Branchetti, L., Cutler, M., Laherto, A., Levrini, O., Palmgren, E. K., Tasquier, G., & Wilson, C. (2018). The I SEE project: An approach to futurize STEM education. *Visions for Sustainability*, 9, 10-26. <https://doi.org/10.13135/2384-8677/2770>
- Bybee, R. W. (2008). Scientific literacy, environmental issues, and PISA 2006: The 2008 Paul F-Brandwein lecture. *Journal of Science Education and Technology*, 17(6), 566-585. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9124-4>
- Chatterjee, I., Kunwar, J., & den Hond, F. (2019). Anthony Giddens and structuration theory. In S. Clegg & M. P. Cunha (Eds.), *Management, organizations and contemporary social theory* (pp. 60-79). Routledge.
- Chen, S. Y., & Liu, S. Y. (2020). Developing students' action competence for a sustainable future: A review of educational research. *Sustainability*, 12(4), 1374. <https://doi.org/10.3390/su12041374>
- Chen, S. Y., & Liu, S. Y. (2024). From argumentation to real-world action: A way to realize scientific literacy. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2415727>
- Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S.-W., & Krajcik, J. (2011). Re-conceptualization of scientific literacy in South Korea for the 21st century. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6), 670-697. <https://doi.org/10.1002/tea.20424>
- Crutzen, P. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415, 23. <https://doi.org/10.1038/415023a>
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200008\)37:6<582::AID-JRST1>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200008)37:6<582::AID-JRST1>3.0.CO;2-1)

TEA5>3.0.CO;2-L

- Deta, U. A., Ayun, S. K., Laila, L., Prahani, B. K., & Suprapto, N. (2024). PISA science framework 2018 vs 2025 and its impact in physics education: Literature review. *Momentum: Physics Education Journal*, 8(1), 95-107. <https://doi.org/10.21067/mpej.v8i1.9215>
- Elmose, S., & Roth, W. M. (2005). Allgemeinbildung: Readiness for living in risk society. *Journal of Curriculum Studies*, 37(1), 11-34. <https://doi.org/10.1080/0022027041000229413>
- Emirbayer, M., & Mische, A. (1998). What is agency? *American Journal of Sociology*, 103(4), 962-1023. <https://doi.org/10.1086/231294>
- Evagorou, M., & Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209-237. <https://doi.org/10.1002/tea.21076>
- Feinstein, N. (2011). Salvaging science literacy. *Science Education*, 95(1), 168-185. <https://doi.org/10.1002/sce.20414>
- Feldman, H. R. (2020). A rhetorical perspective on youth environmental activism. *Journal of Science Communication*, 19(6), C07. <https://doi.org/10.22323/2.19060307>
- Ferguson, T. (2022). Envisioning low-carbon futures: possibility and hope as part of climate change teacher education. *Environmental Education Research*, 28(8), 1191-1208. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2099532>
- Finnegan, W. (2023). Educating for hope and action competence: A study of secondary school students and teachers in England. *Environmental Education Research*, 29(11), 1617-1636. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2120963>
- Fischler, H. (2011). Didaktik— An appropriate framework for the professional work of science teachers? In D. Corrigan, J. Dillon, & R. Gunstone (Eds.), *The professional knowledge base of science teaching* (pp. 31-50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3927-9_3
- Fisher, K., & Parsons, M. (2020). River co-governance and co-management in Aotearoa New Zealand: Enabling indigenous ways of knowing and being. *Transnational Environmental Law*, 9(3), 455-480. <https://doi.org/10.1017/S204710252000028X>
- Fives, H., Huebner, W., Birnbaum, A. S., & Nicolich, M. (2014). Developing a measure of scientific literacy for middle school students. *Science Education*, 98(4), 549-580. <https://doi.org/10.1002/sce.21115>

- Gandolfi, H. E. (2024). (Re)considering nature of science education in the face of socio-scientific challenges and injustices. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00536-w>
- Giddens, A. (1984). *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. University of California Press.
- Gyles, S. A. (2024). Designing for critical science agency in a community-based science curriculum. *Education Sciences*, 14(8), 883. <https://doi.org/10.3390/educsci14080883>
- Herman, B. C., Sadler, T. D., Zeidler, D. L., Newton, M. H. (2018). A socioscientific issues approach to environmental education. In G. Reis & J. Scott (Eds.), *International perspectives on the theory and practice of environmental education: A reader* (Vol 3, pp. 145-161). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67732-3_11
- Herman, B. C., Zeidler, D. L., & Newton, M. (2020). Students' emotive reasoning through place-based environmental socioscientific issues. *Research in Science Education*, 50, 2081-2109. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9764-1>
- Hodson, D. (1994). Seeking directions for change: The personalisation and politicisation of science education. *Curriculum Studies*, 2, 71-98.
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670. <https://doi.org/10.1080/09500690305021>
- Hodson, D. (2010). Science education as a call to action. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 10(3), 197-206. <https://doi.org/10.1080/14926156.2010.504478>
- Hodson, D. (2017). Foreword: The significance of STEPWISE for fostering life-long sociopolitical activism. In L. Bencze (Ed.), *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments* (pp. 3-18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8_1
- Hodson, D. (2021). Going beyond STS education: Building a curriculum for sociopolitical activism. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20, 592-622. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00114-6>
- Hurd, P. D. (1958). Science literacy: Its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16(1), 13-16.
- Iversen, E., & Jónsdóttir, G. (2019). "We did see the lapwing"— Practising environmental citizenship in upper-secondary science education. *Environmental Education Research*,

- 25(3), 411-421. <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1455075>
- Jensen, B. B. (2000). Health knowledge and health education in the democratic health-promoting school. *Health Education, 100*(4), 146-154. <https://doi.org/10.1108/09654280010330900>
- Jensen, B. B. (2002). Knowledge, action and pro-environmental behaviour. *Environmental Education Research, 8*(3), 325-334. <https://doi.org/10.1080/13504620220145474>
- Jensen, B. B. (2019). Environmental and health education viewed from an action-oriented perspective: A case from Denmark. In R. Alan (Ed.), *Curriculum and environmental education* (pp. 277-297). Routledge.
- Jensen, B. B., & Schnack, K. (1997). The action competence approach in environmental education. *Environmental Education Research, 3*(2), 163-178. <https://doi.org/10.1080/1350462970030205>
- Kuhn, D., Hemberger, L., & Khait, V. (2017). *Argue with me: Argument as a path to developing students' thinking and writing*. Routledge.
- Kyle, W. C. (1996). Editorial: The importance of investing in human resources. *Journal of Research in Science Teaching, 33*, 1-4.
- Laherto, A., Levrini, O., & Erduran, S. (2023). Future-oriented science education for agency and sustainable development. *Frontiers in Education, 8*, 1-2. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1155507>
- Latour, B. (2014). Agency at the time of the Anthropocene. *New Literary History, 45*(1), 1-18. <https://doi.org/10.1353/nlh.2014.0003>
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education, 84*(1), 71-94. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C)
- Lazarou, D., Erduran, S., & Sutherland, R. (2017). Argumentation in science education as an evolving concept: Following the object of activity. *Learning, Culture and Social Interaction, 14*, 51-66. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2017.05.003>
- Levrini, O., Tasquier, G., Barelli, E., Laherto, A., Palmgren, E., Branchetti, L., & Wilson, C. (2021). Recognition and operationalization of future scaffolding skills: Results from an empirical study of a teaching-learning module on climate change and futures thinking. *Science Education, 105*(2), 281-308. <https://doi.org/10.1002/sce.21612>
- Liu, X. (2013). Expanding notions of scientific literacy: A reconceptualization of aims of science education in the knowledge society. In N. Mansour & R. Wegerif (Eds.), *Science education for diversity: Theory and practice* (pp. 23-39). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8900-0_2

- org/10.1007/978-94-007-4563-6_2
- McNeill, K. L., & Vaughn, M. H. (2012). Urban high school students' critical science agency: Conceptual understandings and environmental actions around climate change. *Research in Science Education*, 42(2), 373-399. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9202-5>
- Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. King's College London School of Education.
- Mogensen, F., & Schnack, K. (2010). The action competence approach and the "new" discourses of education for sustainable development, competence and quality criteria. *Environmental Education Research*, 16(1), 59-74. <https://doi.org/10.1080/13504620903504032>
- Next Generation Science Standard Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- Nichols, A. M. (2020). Being human: An ecocentric approach to climate ethics. In B. G. Henning & Z. Walsh (Eds.), *Climate change ethics and the non-human world* (pp. 133-149). Routledge.
- Nordenbo, S. E. (2002). Bildung and the thinking of Bildung. *Journal of Philosophy of Education*, 36(3), 341-352. <https://doi.org/10.1111/1467-9752.00280>
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224-240. <https://doi.org/10.1002/sce.10066>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. The National Academies Press.
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2002). *Definition and selection of competencies: Theoretical and conceptual foundations (DeSeCo)*. <https://www.deseco.ch/bfs/deseco/en/index/01.parsys.70925.downloadList.59988.DownloadFile.tmp/2001annualreport.pdf>
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2007). *PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world* (Vol. 1: Analysis). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264040014-en>
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2017). *PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematic, financial literacy and collaborative problem solving*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>

- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/54ac7020-en>.
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2019a). *OECD future of education and skills 2030: OECD learning compass 2030: A series of concept notes*. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/concept-notes/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/1-1-learning-compass/OECD_Learning_Compass_2030_Concept_Note_Series.pdf)
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2019b). *Conceptual learning framework- Student agency for 2030*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/about/projects/edu/education-2040/concept-notes/Student_Agency_for_2030_concept_note.pdf
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2023). *PISA 2025 science framework* (Draft). OECD Publishing.
- Organisation for Economic and Co-operation and Development. (2024). *PISA 2025 science framework*. <https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/>
- Ojala, M. (2012). Hope and climate change: The importance of hope for environmental engagement among young people. *Environmental Education Research*, 18(5), 625-642. <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.637157>
- Olsson, D., Gericke, N., Sass, W., & Boeve-de Pauw, J. (2020). Self-perceived action competence for sustainability: The theoretical grounding and empirical validation of a novel research instrument. *Environmental Education Research*, 26(5), 742-760. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1736991>
- Osborne, J. (2023). Science, scientific literacy, and science education. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 785-816). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758>
- Osborne, J., & Allchin, D. (2024). Science literacy in the twenty-first century: Informed trust and the competent outsider. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2331980>
- Osborne, J., Donovan, B. M., Henderson, J. B., MacPherson, A. C., & Wild, A. (2016). *Arguing from evidence in middle school science: 24 activities for productive talk and deeper learning*. Corwin Press.
- Otto, I. M., Wiedermann, M., Cremades, R., Donges, J. F., Auer, C., & Lucht, W. (2020). Human agency in the anthropocene. *Ecological Economics*, 167, 106463. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106463>

- Pedretti, E., & Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626. <https://doi.org/10.1002/sce.20435>
- Piasentin, F. B., & Roberts, L. (2018). What elements in a sustainability course contribute to paradigm change and action competence? A study at Lincoln University, New Zealand. *Environmental Education Research*, 24(5), 694-715. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1321735>
- Priestley, M., Biesta, G. J. J., & Robinson, S. (2015). Teacher agency: What is it and why does it matter? In R. Kneyber & J. Evers (Eds.), *Flip the system: Changing education from the bottom up* (pp. 134-148). Routledge.
- Ramjewan, N. T., Zoras, B., & Bencze, L. (2017). Giving meaning to STSE issues through student-led action research: An actor-network theory account of STEPWISE in action. In L. Bencze (Ed.), *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments* (pp. 277-293). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55505-8_12
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Routledge.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. II, pp. 545-558). Routledge.
- Roth, W. M., & Lee, S. (2004). Science education as/for participation in the community. *Science Education*, 88(2), 263-291. <https://doi.org/10.1002/sce.10113>
- Rudsberg, K., & Öhman, J. (2015). The role of knowledge in participatory and pluralistic approaches to ESE. *Environmental Education Research*, 21(7), 955-974. <https://doi.org/10.1080/13504622.2014.971717>
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138. <https://doi.org/10.1002/tea.20042>
- Santos, W. L. P. D. (2009). Scientific literacy: A Freirean perspective as a radical view of humanistic science education. *Science Education*, 93(2), 361-382. <https://doi.org/10.1002/sce.20301>
- Schenkel, K., & Calabrese Barton, A. (2020). Critical science agency and power hierarchies: Restructuring power within groups to address injustice beyond them. *Science Education*,

- 104(3), 500-529. <https://doi.org/10.1002/sce.21564>
- Schenkel, K., Calabrese Barton, A., Tan, E., Nazar, C. R., & Flores, M. D. G. D. (2019). Framing equity through a closer examination of critical science agency. *Cultural Studies of Science Education*, 14, 309-325. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09914-1>
- Simonneaux, L. (2014). *Questions socialement vives* and socio-scientific issues: New trends of research to meet the training needs of postmodern society. In C. Bruguere, A. Tiberghien, & P. Clement (Eds.), *Topics and trends in current science education* (pp. 37-54). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7281-6_3
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In Y. J. Dori, Z. R. Mevarech, & D. R. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education: Learning, teaching and assessment* (Vol. 24, pp. 65-68). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_4
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2020). The Bildung theory—From von Humboldt to Klafki and beyond. In B. Akpan & T. J. Kennedy (Eds.), *Science education in theory and practice: An introductory guide to learning theory* (pp. 55-67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_5
- Steele, A. (2014). The seventh current: A case for the environment in STSE education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 14, 238-251. <https://doi.org/10.1080/14926156.2014.935527>
- Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation: Critical perspectives about science participation and emancipation. *Science & Education*, 30(3), 557-587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- White, P. J., Ardoine, N. M., Eames, C., & Monroe, M. C. (2023). *Agency in the anthropocene: Supporting document to the PISA 2025 science framework*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19939019>
- Yacobubian, H. A. (2018). Scientific literacy for democratic decision-making. *International Journal of Science Education*, 40(3), 308-327. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1420266>
- Yore, L. D. (2012). Science literacy for all: More than a slogan, logo, or rally flag! In K. Tan & M. Kim (Eds.), *Issues and challenges in science education research* (pp. 5-23). Springer.
- Yore, L. D., Pimm, D., & Tuan, H. L. (2007). Language—An end and a means to mathematical literacy and scientific literacy. *International Journal of Science and Mathematics*

- Education*, 5(4), 557-589. <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9089-4>
- Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: Theory, research, and practice. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. 2, 2nd ed., pp. 697-726). Routledge.
- Zeidler, D. L., Herman, B. C., & Sadler, T. D. (2019). New directions in socioscientific issues research. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0008-7>
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A., & Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367. <https://doi.org/10.1002/sce.10025>
- Zeidler, D. L., & Sadler, T. D. (2023). Exploring and expanding the frontiers of socioscientific issues. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 899-929). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758>