

從傳道至參與：科學教育的民主脈動

廖英凱 劉湘瑤*

國立臺灣師範大學科學教育研究所

壹、PISA 2025 與科學教育目標

2025 年國際學生能力評量 (PISA 2025) 以科學為主測科目，其對科學素養詮釋為：「具備科學素養者能夠就科學、永續發展和科技相關議題提出合理的論述，進而影響行動」，並定義學生所需的科學能力為「科學性地解釋現象」、「建構和評估科學探究的設計」、「研究評估並運用科學資訊進行決策和行動」三個層次¹。PISA 2025 的觀點，不僅限於科學研究和探究實作能力，更包括運用科學參與真實社會議題，轉化為具體行動。此觀點似可反映今日科學教育的目標，綜覽本世紀探討科學教育與社會實踐的重要文獻，多強調科學教育應運用真實情境議題以培養知識的理解 (Lee & Butler, 2003)；解決科學與社會交互問題以認識科學本質 (Chowning, 2009)；透過情境學習培養學生參與社會性科學議題的積極態度 (Sadler, 2009)。2010 年代起，興起公眾參與科學的主張，如提出開放科學及公眾參與科技治理的必要性 (Stilgoe et al., 2014)；或主張透過媒體和新興公眾參與平台的科學教育以促進民主 (Feinstein, 2015)。在臺灣教育的相似脈絡中，十二年國民教育課程綱要強調「素養」為知識、能力、態度的綜合表現 (教育部, 2018; 劉湘瑤、張俊彥, 2018; 蔡清田, 2010, 2011)。並將「參與公民社會議題的決策與問題解決」、「具有科學素養並能理性積極參與公眾決策的未來公民」當作目標。

因此，培育具科學能力參與公眾議題決策的未來公民，似成當代科學教育顯學，但其細緻意涵如參與議題、決策型式之理想型態與目的設定；既有教材教法是否廣泛運用社會議題引領思辯？是否滿足 PISA 2025 所期待的科學能力，即「使用認識論或程序性知識來批評科學論證中的常見缺陷」²等問題仍須探討。若無科學史哲或科學本質相關經歷，認識論一詞與科學教育實務似顯遙遠，故本文將呈現當代科學教育和傳播、科學實務研究與將科學視為研究對象的外在切入視角的趨勢變遷，以此理解課綱乃至於 PISA 對科學教育的期待。

1 臺灣 PISA 國家研究中心. (2024). PISA 2025 評量架構. 臺灣 PISA 國家研究中心. <https://cirn.moe.edu.tw/WebContent/index.aspx?sid=1224&mid=16072>

2 蔡今中. (2024). 臺灣國際學生能力評量 (PISA) 成果報告. 臺灣 PISA 國家研究中心.

*為本文通訊作者

貳、科學教育和傳播的科學參與

長期以來，科學教育具有傳習科學知識之目的，亦被賦予應向公眾宣揚科學態度、重振社會道德、橋接科學與人文而達到救國興國的目標（趙金祁，1996）。對於宏觀的科學志業來說，科學教育和科學傳播，似正朝支持「參與」的趨勢發展。

一、科學素養的願景趨勢

科學素養 (scientific literacy) 可謂當代科學教育目標 (教育部，2018；Bybee, 1997; Cross, 1999; Rutherford & Ahlgren, 1991)，被視為科技發展、社會富足的關鍵，無論制式教育或非制式教育的教育政策，乃至於公眾的知識傳播與科技政策，均強調培養科學素養之必要。做為其字源的「素養」，亦被認為是一種隨不同文化與時代，而能有不同面向與發展需求的社會活動 (Barton, 2007; Cleary et al., 2007)。因此，盤點科學素養概念的改變，可以用來理解科學教育目標及所背負之社會期待的改變。

(一) 2000 年代前：支持科學的科學素養

科學素養一詞由 Paul Hurd 在 1958 年提出，為人們理解科學、應用科學、了解科學發展過程的綜合指標 (Hurd, 1958)。1950 至 1970 年代受到二戰戰後工業發展、冷戰時期軍武與太空科技競爭影響，科學素養的倡議，多以強調科學在社會中的重要性為出發點 (DeBoer, 2000; Hodson, 2005; Hurd, 1958; McCurdy, 1958)。在此目標下推動的科學素養，旨在培養公眾對科學的支持；於教育端則著眼於培養科學家與工程師，以襄助科學事業的發展而能厚植國力 (Laugksch, 2000; Yore, 2012)。

此時期之科學素養定義已有多元發展，如 Pella et al. (1966) 回顧 1950 至 1964 年涉及科學素養、科技與公民、科技與社會關係等主題的期刊文獻，歸結出科學素養可涵蓋基礎科學概念、科學本質、研究倫理、科學與社會、科學與人文和科學與技術等六個不同視角，然而多元科學素養定義並未得到相應的推動成效。Laugksch (2000) 認為，在 1970 至 1980 年代，科學素養因相對缺乏明確有共識的定義，反而降低實用性。Bybee (1997) 認為此階段的科學素養，似乎是刺激科學教育的口號 (引自 DeBoer (2000), p. 582)。

1980 年代後，對科學素養的關注更頻繁出現，於個人尺度上強調個人決策、處理與解決問題能力 (DeBoer, 2000; OECD, 2016)，於國家尺度上則被視為經濟發展的基礎，而開始關注科學與社會文化的交互關係 (Laugksch, 2000)。以科學素養為目標的科學教育政策亦在此時期被制定問世 (Atkin & Helms, 1993; Jenkins, 1992)，但綜觀整個 20 世紀，強調人文面向發展的科學課程改革基本上仍不算成功 (Aikenhead, 2006; Eisenhart et al., 1996; Fourez, 1997; Shamos, 1995)。

(二) 2000 年代後：二分法願景的辯論

2000 年代後，關於科學素養的定義與推動開始聚焦，Douglas A. Roberts 將科學素養依內容 (content) 與脈絡背景 (context) 的二元性分為兩種願景(Holbrook et al., 2009; Roberts, 2007)，此願景分法對後續的學術研究產生顯著影響。Siarova et al. (2019) 認為近二十年關於科學素養意涵最普遍的辯論，圍繞在將科學素養以二分法化約為內容以及社會相關性 (societal relevance) 兩種願景上，內容導向的願景聚焦於對科學知識的理解；而社會相關性的願景則側重於理解科學對社會和現實生活的實際用處。

基於二元性的科學素養願景分類，在不同研究社群中，亦以不同模型或分類方式呈現，如以目標受眾為依據而有科學家養成與全民科學兩種願景 (Aikenhead, 2006)；以政策目標的時間尺度為依據，則分為政策與教育觀點的短期目標和長期目標願景 (Holbrook et al., 2009)。

(三) 2010 年代後：以參與為目標的科學素養願景

2010 年代後，關於科學素養願景的討論，開始主張以參與科學為目標，如對科學的參與、對話或對抗 (Liu, 2013; Yore, 2012)；或參與社會政治行動 (Hodson, 2010; Santos, 2009)；參與社區或地區性議題 (Adams, 2012; Birmingham & Calabrese Barton, 2014)；參與縝密的公民科學計畫 (Haywood et al., 2016)。此時期的科學素養概念賦予科學資訊的理解、重視與互動相同的權重 (Bybee, 2012)；強調利用社會性科學議題進行批判討論與將民主原則納入科學課程中 (Yacoubian, 2018)。

在 Roberts (2007) 的願景二分基礎之上，Liu (2013) 將科學素養增訂為三個願景：科學內容 (scientific content)、科技社會問題 (science-technology societal issue) 和科學參與 (scientific engagement)。其第三願景的「科學參與」，與前者之差異在不侷限於課室環境的學習 (Varela-Losada et al., 2015)，而更關注社會議題中的科學，並能分析與解決問題；提倡以參與社會、文化、政治與環境問題的行動，作為科學素養的關鍵；強調對制度或結構的批判思考與對社會的有效溝通。

二、科學傳播的民主理路

相較於科學教育多以學校制式教育為範疇，科學傳播則受到科學促進者與科技政策上位決策者的支持 (Dierkes & von Grote, 2000; Knight, 2006)，做為非制式科學教育環境的良好工具 (Stocklmayer & Rennie, 2017)。在公眾議題語境下的科學傳播，猶如校園外的科學教育，被賦予拉近科學與公眾距離的任務，其內容多與即時科學發現和科學議題相關。與科學教育概念流變類似，科學傳播的目的和模式，在百餘年來也隨時代脈絡而變。

(一) 科學普及

當代科學傳播以通俗形式向公眾介紹科技的概念，最早可追溯至 1836 年，彼時強調科學傳播應具通俗化、普遍化或有趣化的特色 (Spurgeon, 1986)。十九世紀起，伴隨科技與傳媒發展，科技新知報導逐漸出現在大眾傳播。1937 年 Watson Davis 提出「科學普及 (popularization of science)」一詞，主張應以新聞傳播形式，向公眾解釋科學對文明的重要；應準確且有趣地介紹科學發展，使公眾能將科學運用在日常生活、人際關係、政治與商業行為；並理解自由、民主等理想應以科學方法與理性為指導 (Davis, 1937)。至今，儘管概念已有改變，但「科學普及」或「科普」一詞，仍為中文世界運用科學傳播的普遍修辭與概念，如我國科學技術基本法提及「推廣科學知識普及化」；或如國家科學與技術委員會常年以來推動「科普活動計畫」、「科普列車」、「科普創意松」等活動，都是以整體公眾為對象的科學傳播路徑。

強調公眾有必要得到科學知識的觀點，在科學傳播發展初期蔚成顯學，1939 年 John Desmond Bernal 提出全民科學 (Science for all) 的概念，主張科學教育的目的是使公眾了解、欣賞與應用科學概念和知識；透過傳播科學的重要性，使科學得以獲得支持而充分發展；能分辨何謂科學，以對抗神祕主義和反理性 (Bernal, 1939; Bodmer, 2010)。此時期的科學傳播內容會避免著墨於乏味的細節，以提供精簡、誘人但籠統的文本為主 (Knight, 2006)。1951 年美國科學促進會 (American Association for the Advancement of Science, AAAS) 明定組織目標為協助科學家工作並促成科學家合作；提高科學在促進人類福祉的有效性；增進公眾對科學的理解與重要性的認識；使公眾認知科學方法對人類進步的地位 (AAAS, 1951)。

「科學普及」層次的科學傳播以科學家為核心，此時強調的科學擁有撥亂反正世間事務的至高威能。公眾必須支持科學與科學家，必須學習科學以培養當代公民應有的理性思維，從科學傳播模式的研究觀點，也因採用「缺失模型 (deficit model, 亦譯為赤字模型、缺陷模型)」的觀點，而常被批評忽略公眾的主體性，以及使社會議題去脈絡化 (Brossard & Lewenstein, 2009)。

(二) 公眾理解科學

儘管受科學普及觀點之驅使，然公眾應如何獲得科學知識？校園內的正規科學課程與校園外的科學普及應如何調和或分工？在科學普及觀點提出之始仍未有定論。

1985 年英國皇家學會 (The Royal Society) 提出《*The Public Understanding of Science*》，亦被稱作《*Bodmer Report*》，強調理解科學對個人、產業、社會與國家繁榮穩定的重要性；主張應強化正規教育的科學教育與資源；提升博物館等場館的教育品質；大眾傳媒應積極報導科學內容、介紹科學家工作、鼓勵科學家與科學記者製作科普刊物、利用戲劇與傳記

等多元形式傳播科學；並針對不同利害關係人如政府、產業、科學社群等提出達成以上目標的建言 (Bodmer, 1985)。

時至今日的主流與多數科學傳播刊物、影音、網站與新媒體等，仍多持此「公眾理解科學 (public understanding of science, PUS)」的理念，PUS 被視為利於科學與經濟等社會關鍵因素 (Thomas & Durant, 1987)；利於國家發展與個人決策品質的提升 (Stocklmayer & Gilbert, 2002)。

與科學普及相比，PUS 在知識的傳播仍以科學家為核心，但以整體社會、國家為傳播的管道，以整體公眾為傳播受眾，系統化地將科學傳播視為社會教育以彌補制式教育之不足。同時科學傳播本身與受眾本身的主體性增強，如 Burns et al. (2016) 提出科學傳播的 AEIOU 模型，將科學傳播定義為使用適當的技能、媒介、活動與對話，使受眾對科學產生覺知 (Awareness)、享受 (Enjoyment)、興趣 (Interest)、意見 (Opinions) 和理解 (Understanding) 等反應。

又隨網路與新媒體等新興傳播技術或模式的興起，知識傳播的客製化與雙向對話開始實踐，PUS 雖仍隱含「缺失模型」，但有時也能實踐以受眾知識、文化背景與個人情況為出發點，以受眾已形成的個人社會和心理基模 (schemas) 來理解知識，並能保有雙向溝通特色的「脈絡模式 (contextual model)」(Brossard & Lewenstein, 2009)。儘管傳播技術的提升增進了雙向對話或傳播的機會，但 PUS 仍受到以科學為研究對象的「科技與社會研究 (Science and Technology Studies, STS)」觀點的挑戰，認為應強調「把科學知識帶入公共領域的過程」(Bryant, 2003)，應關注公共性，以及對科學的信任、體認或社會脈絡 (陳恆安, 2011)。

(三) 公眾參與科學

在此時代脈絡下，21 世紀起，對公眾理解科學的研究與關注，已逐漸轉變至「公眾參與科學 (public engagement in science, PES)」(Potočnik, 2007)。如 Bodmer (1997) 在探討生物醫學領域與公共政策的 PUS 時，主張應找到合適的方式，讓公眾公開討論科技帶來的新發現與其影響。近期大眾傳播的發展，使大眾化專業知識對政策流程產生重大影響，改變了傳統科技專家顧問與政策制定的關係 (Petersen et al., 2010)。

在不同國家或區域的情境中，2007 年歐盟科技社會的綠皮書政策，鼓吹將科學的卓越成果、良好治理與公眾參與相結合做為政策方向 (Potočnik, 2007)。德國在 PES 的基礎上，強調科學與社會、文化的密切關係，而發展為「公眾理解科學與人文 (public understanding science and humanity, PUSH)」(莫季雍, 2013)。英國則發展出「公眾參與科技 (public engagement with science and technology, PEST)」，將 PES 聚焦於科技創新過程應納入責任感；多樣化公民知識認識觀；使公眾參與的科技議題不受限於議題的輕重緩急

或利害關係人類型；支持新興參與平台或空間；重拾開放科學的熱情 (Stilgoe et al., 2014)。

在公眾參與科學情境下的科學傳播模式，因肯認基於在地經驗、社會文化脈絡發展的常民知識，並重視其對政策制定的價值，而會報導或強調非科技專家的常民觀點，因此被稱為「常民專家模式 (lay expertise model)」。更進一步的是將科學與非科學界線模糊化，不僅接納常民知識，亦將公民觀點納入公共政策辯論之中，強調參與的過程與對話的目的，透過參與式民主的活動形式賦權，以達到科學民主化的「公眾參與模式 (public engagement model)」(Brossard & Lewenstein, 2009)。

參、科學內外的科學參與

承前文之主張，當代科學教育目標之趨勢變遷，可能受到科學實務發展與其本質的轉變影響，也可能伴隨著將科學視為研究對象的外在切入視角而變遷。因此，本段以科學內在與外在視角探勘科學「參與」的特徵。

一、科學研究的內在實務視角

科學教育與科學傳播在類似時期往重視公眾參與或民主化的路徑發展。以臺灣的社會發展脈絡來看，可解釋為科學傳播的進程是從國族化的科學到民主化的科學，伴隨著政治轉型、政府與法令設計等科學的外在因素，推動著科學傳播的改變 (黃俊儒、羅尹悅, 2022)。也可解釋為科學研究本質的轉變，以科學內在的因素，帶動了科學傳播或教育的改變 (林陳涌、廖英凱, 2022)。抑或是受到科學內外因素相互糾纏的影響，而形成一個更恢弘的時代脈絡。本文認為在此脈絡之中，自然科學研究實務的本身，正展現出一個參與和賦權的趨勢。

(一) 20 世紀前：獨立科學家

近代科學研究始於後文藝復興時期的歐洲，彼時宗教、政治人物與豪門家族常因對科技、聲望與宗教價值的需求，給予科學家資金贊助，使多數科學家已具備相當資產或能自籌經費，科學工作並非追求金錢的營利事業，而是一種業餘性質的智力與慈善活動。科學家嚮往自由受教與研究，也保有廣泛接觸其他文化的生活。科學研究工作之目的係將科學的成果貢獻於社會或個人名聲經營。具有此類態度而從事科學工作者，被稱為「獨立科學家 (independent scientist)」或「紳士科學家 (gentleman scientist)」(Davis, 2009; Ross, 2006; Segen, 1992)，如 17 世紀英國化學家 Robert Boyle，因其貴族身分，而能獨立從事科學學術研究 (Blackburn, 2008; Davis, 2009)(引自林陳涌、廖英凱, 2022)。

(二) 20 世紀後：大科學時代

20 世紀起，科學研究既受戰爭軍事技術之需求推動，對科技人才與研發成果之需求使科學教育蔚成顯學，而發展成大科學 (big science)。大科學的興起標誌了科學家從獨立研究的個體，轉變為研究事業組織體的成員。大科學研究事業的特點常是單一研究計畫之研究團隊可由數十至上千名科學家、工程師與技術人員所組成，需要大型儀器與設施，由於資源需求龐大，必須仰賴政府、產業或跨國合作的資金支持 (Myers, 1992)，研究組織中也仰賴大量管理人員，提供行政規劃、財務管理、募資與行銷等技能。科學事業的樣貌改變，也衍生出研究型大學的經營概念 (Dennis, 2017)。時至今日，公民營研究機構、科學與科技企業研究部門，均可謂大科學時代下的產物。然而大科學的發展導致科學家的研究興趣與研究機會，傾向或被迫服膺持有資源者之意願，而可能忽視由研究者個人驅動的小型研究 (Valentine, 2010)；被批評使科研工作常規化與官僚化且壓制了創造力 (Heilbron, 1992)；憂慮會與批判性思考和模型驅動的科學方法衝突 (Ceri, 2017)；更被抨擊會破壞對知識純然追求的啟蒙理想，如一種以科學真理之名，建造安撫當權者的現代紀念碑 (Weinberg, 1961)。

(三) 1970 年代後：公民科學

在大科學發展興起與反思之下，1970 年代 Paul Feyerabend 提出科學民主化 (democratization of science) 的概念，主張當代科學已成為專家實踐理想的招牌與說服大眾的藉口，這使科學的優勢威脅到民主，如同過去宗教與國家的權力結合般，成為一種科學與反民主的結合。專家常帶有偏見且不可靠，因此必須要有外部控制，必須要發揮「公民意識」以確保自由社會的穩固 (Feyerabend, 1978)。

1979 年，公民科學家 (citizen scientist) 一詞首次被提出，視為一種基於興趣而收集資料的業餘研究者 (Oberg, 1979)。Irwin (1995) 針對公民科學又進一步定義，再細分為由科學家主導的公共研究計畫，或由公眾參與科學政策的形成等。至今公民科學的形式更多元發展，如監測志工 (volunteer monitoring)、社區科學 (community science)、參與式行動研究 (participatory action research) 等公眾參與科學研究的多元模式 (Bonney et al., 2009) (引自林陳涌、廖英凱，2022)。

上揭不同公民科學的模式中，可分為兩種典型的型態：其一為科學家主導的研究計畫，公眾以志工的角色協助科學家工作，如業餘天文觀測、生態與環境監測；或分享閒置資源的方式減輕科學家負擔，如搜尋地外文明計畫 (search for extraterrestrial intelligence, SETI)，都被視為「由公民執行 (by citizens)」的參與模式 (Collins & Evans, 2017)。

其二則為蘊含抗議與挑戰的參與，如雷裡溪光電廢水爭議中，發起、規畫並串聯外界專家社群的在地公民 (杜文苓、李翰林，2011)。在此類公民科學模式中，公眾可透過參與

研究過程協助提出問題、主動招募技術專家，進而與專家共同打造新的科學文化 (Socientize, 2014)，可視為一種「為公民執行 (for citizens)」的參與模式 (Collins & Evans, 2017)。

宏觀地看科學研究與公民科學發展的軌跡，雖今日自然科學研究的主要場域為產官學研所屬的研究機構，但科學研究實務中，仍隨時代演進逐漸蘊含了賦權 (empowerment) 的精神，強調人們能掌握自身相關事物的機會，透過參與或合作提升個人或群體的生活品質 (Kloos et al., 2012)。

因此，無論是做為科學內在的研究工作，或是做為科學往社會推進的教育與傳播，都能展現出隨時代改變而受到社會文化的影響，開始更強調參與及公眾的主體性。

二、科學之學的外在研究觀點

前文中探討科學教育、傳播與研究實務的脈絡，視為一種「科學之學」的研究方式，科學概念隨時代文化的改變，不同時代文化對科學的期待樣貌，是在探討「科學本質」，或反思「科學到底是什麼？」時，值得跳脫科學學科劃界的檢視方式。

此處所指的「科學之學 (science studies)」引自 Hess (1997) 的用詞，其概念為針對科學這門學科，由其他學科領域對科學所提出的研究，亦被稱為「元科學研究 (metascientific studies)」、「關於科學的研究 (studies about science)」或有譯為「科學學」、「科學論」，至少包括關於科學的心理學、社會學、人類學、政治、經濟、歷史與哲學等七種觀點 (黃俊儒等人, 2008; Hess, 1997; Lorenzani, 2010)。

從多方觀點針對科學的研究來看，Collins 和 Evans (2016) 將過去一世紀科學之學的進程分為三波浪潮，代表看待科學知識與專家本質的轉變：

(一) 第一波浪潮：權威的時代

科學之學的第一波浪潮始於 20 世紀初期，在 1950 至 1960 年代達到巔峰。此時期人們相信科學知識的傑出、絕對性與普遍性，政治無法影響科技決策，專業知識擁有絕對宰制。同時，因軍武發展與大科學的概念而留意到社會結構對科學發展的影響，導致此階段科學社會學的分析側重於解釋科學錯誤而非科學真理 (Collins & Evans, 2016, 2017)，此時期的「科學社會學」，關注科學家與社會機構、政治經濟環境的關聯，發展科學社會內部的規範以指引適當的科學實作行為 (Merton, 1973; Sismondo, 2007)，並不觸及以科學知識為研究對象的社會學分析 (戴東源, 2012)，科學家與公眾之間亦有明確的界線與階級。

(二) 第二波浪潮：民主的時代

科學之學的第二波浪潮始於 1960 年代，常以 1962 年 Thomas Kuhn 與其所著《科學革命的結構》(*The Structure of Scientific Revolutions*) 為此浪潮之濫觴 (Hess, 1997;

Sismondo, 2007)。在此典範下的科學之學，強調科學知識是社群內部談判、協議與妥協的結果，提供了反對技術霸權的論述。如「科學知識社會學」以科學知識的社會性質為研究對象，並透過廣泛案例研究，指出專家建議與科學知識是建立在社會假設之上，以此破壞第一波浪潮中科學在認識論上的特權，消弭決策過程中科技專家的超然地位（劉文旋，2012；Collins & Evans, 2016, 2017; Sismondo, 2007)。在此浪潮下，科學知識並不享有特權，科學家與公眾的劃界被模糊化，常民專家 (lay experts) 的貢獻應被同等強調，因此在科技議題的決策時，參與者組成也應擴及至專家社群以外，是一種權力下放的過程。

(三) 第三波浪潮：專業知識的時代

然而第二波浪潮未有對常民專家與常民知識的判準，使決策過程中各類參與者與知識享有同等的地位，但缺乏界定對錯真偽的原則。對此，Collins 和 Evans (2016) 提出第三波浪潮「專業知識與經驗知識研究 (studies of expertise and experience, SEE)」。

SEE 持守第二波浪潮對第一波浪潮中獨尊科學知識與科學家霸權的否定立場，但也承認專業知識有助於決策。同時 SEE 也否定第二波浪潮對專家與常民劃界的完全模糊，而強調專家與常民的劃界應彈性取決於知識的本質，須同時考量專業知識與基於經驗的知識。在此觀點下，參與決策專家所擁有的知識可區分為「貢獻型專業知識 (contributory expertise)」與「互動型專業知識 (interactional expertise)」。「貢獻型專業知識」為傳統科技專家之形象，擁有專業能力或透過大量訓練，以在議題上貢獻出專業知識；「互動型專業知識」則如人類學家、新聞記者、倡議團體等，此類群體則可透過與專業社群的互動，對知識或議題脈絡有一定程度的了解，也可被視為專家而參與決策 (Collins & Evans, 2017)。

此觀點對具備科技風險的決策特別具有價值，成為風險治理研究的關注焦點。過往針對環境議題的決策研究，常強調不應單純依靠科學專業的知識，而需尋求更開闊、多元的政策知識方法論，以提升決策品質 (deLeon, 1990; Fischer, 2009)；或強調科學專家與非專家在知識上共同合作、設計、生產、執行與相互學習 (Hackmann & Moser, 2013)。臺灣在地的環境議題研究，也開始著重科學相關的社會爭議發生時，不同利害關係人論述的知識與證據型態，以及知識進入決策場域的模式或路徑 (杜文苓，2010)。

上述科學之學的發展，不僅與科學教育、傳播及科學實務的趨勢相似，同等呼應真實社會議題以及公眾參與決策的機制，更重要的是強調知識的多元與複雜。過往議題導向的科學教育與傳播，多以議題為契機，使正確知識得以傳播予受眾；或在妥善傳播或釐清議題知識的前提下，使公眾討論社會議題中的價值取向。然科學之學對科學教育和傳播之啟發，是在面對或運用科學議題時，不只強調教科書、學術文獻與專家觀點的專業知識，也需強調公眾或師生在探討和互動的過程中催生出的知識與觀點。這呼應了近期科學教育研

究中，對科學認識論的重要研究，從制式教育角度，強調科學認識論教學是學生學習科學資訊的核心 (Ryder, 2002)；漸往公眾理解科學的角度，強調教授科學認識論和科學過程對公眾的助益 (Sinatra & Hofer, 2016)；以及主張科學認識論能引發公眾對傳播文本中科學內容的興趣，而提高公民參與程度 (Choung et al., 2020)。由此來看「參與」的趨勢或特徵，不只是參與機制或與議題相關的行動，更重要的是在過程中能涵容與探索多元知識型態。

肆、為什麼民主需要科學教育？

20 世紀初期起，教育研究者早已意識到教育對民主社會發展的重要，並將科學教育視為培養批判性思維的關鍵 (Dewey, 1916)。爾後在冷戰的時代背景下，民主化浪潮在全球開展，但民主制度也遭受不同意識形態的挑戰，促使政治研究者關注公眾之知識與教育，對維護民主機制的重要 (Dahl, 1989)，此間也不乏科學專家呼籲提倡公眾教育中的科學思維，以理解世界和避免迷信 (Sagan, 1995)。本世紀起，鼓吹科學教育做為民主社會基礎的觀點蔚成顯學，如聯合國教科文組織 (UNSECO) 在永續發展目標中，強調科學教育所帶來的批判思維、問題解決能力及公民意識之促進 (Rieckmann, 2017)；或如經濟合作暨發展組織 (OECD) 強調科學素養在民主制度與決策中的作用 (OECD, 2019)。

綜上所述，民主體制的發展漸強調科學教育的重要，科學之志業也愈發展現出重視公眾及其知識的參與趨勢，而對於近期科學教育之發展，則對參與的情境或議題，著重於與社會脈絡的連結。

一、社會脈絡中的科學教育

半世紀以來，科學教育界致力於研究社會脈絡中的科學，幾位學者因呼應科技發展導致的環境破壞等爭議，提出了「科學、技術、社會與環境關係 (Science, Technology, Society and Environment relationships, STSE)」、「社會性科學議題 (Socio-scientific Issues, SSI)」，以及「社會爭議問題 (Socially-Acute Questions, SAQ)」等不同教學題材。

STSE 為加拿大學校課程強調的面向，源於 1971 年 Jim Gallagher 的主張，他指出「對於未來民主社會的公民，了解科學、技術和社會之間的相互關係可能與了解科學的概念和過程一樣重要」(Gallagher, 1971)。STSE 著重於全民科學，提倡培育負責與積極的公民，支持民主與社會正義。強調學生應了解科技對社會的影響、科技發展與利益分配的關係、發展個人觀點與價值，並最終能參與真實社會議題的調查與行動 (Hodson, 2003)。

美國學者 Zeidler 等提出的 SSI 概念被廣泛用於不同學科與不同年級的課程中，能應用於對科學概念的理解，也能做為參與社會議題和行動的方法 (Zeidler, 2014)。SSI 鼓勵運用真實世界的議題，鋪陳具有真實性情境的學習題材，其理論框架可提高論證技巧、高

層次思考和批判思考能力 (Amirshokoohi, 2010)。以 SSI 為題材的科學教育，能涵蓋科學本質議題 (nature of science issues)、話語議題 (discourse issues)、文化議題 (cultural issues) 和案例為主的議題 (case-based issues) 等四個領域，強化學生的科學認知與道德發展 (黃俊儒等人, 2008; Zeidler et al., 2005)。但 SSI 不特別關注與挑戰學習者的個人特質與道德信念，須留意 SSI 概念被過度使用時，反削弱了與社會脈絡的相關性 (Bencze et al., 2020)。

法國學者 Simonneaux 倡導的 SAQ 如同 STSE 和 SSI 一般，鼓勵使用複雜、有爭議的真實世界議題，SAQ 強調議題需在社會、研究與專業領域、課堂三個面向都是刻不容緩的，因此更優先考慮社會和科學爭議、複雜性、累積的專業知識、評估證據、不確定性和風險 (Bencze et al., 2020)。Bencze 等人亦指出，將 SAQ 納入教育，不僅結合科學內容與技術應用的後果，也應討論 dos Santos 和 Mortimer (2002) 所建議之「對環境風險的理解；科技系統對文化的影響力；個人需求與市場需求的差異；以及與永續發展一致的態度和價值觀發展 (p. 647)」。

這群學者於 2020 年時共同發表文章，將其統稱為「社會脈絡中的科學 (science-in-context, SinC)」。他們指出這些概念儘管名稱、地緣政治和時間起源不同，於本體論、認識論和價值觀也略有差異，但教育理念均希望能針對真實社會議題，提供學習者更全面與批判性的概念，使學習者能應用這些概念來實踐更公正與更環保的世界 (Bencze et al., 2020)。

二、科學教育中的民主脈動

由上述諸多領域的發展趨勢來看，民主制度的發展需要科學教育，而科學教育的發展趨勢，也同時耦合著在真實社會脈絡下，以公眾及其知識為主體的民主化趨勢。

以此反思臺灣科學教育，雖近期科技相關議題教學已呼應真實社會議題，但仍受到批評，如議題內容僅當作課堂教學的陪襯範例，教師仍多缺乏主持開放問題討論的能力與經驗 (林陳涌, 2015)；議題呼應的尺度與深度較小，也欠缺師生合作 (Aikenhead, 2009)；議題教學目標也多設定在提升學生個人論證、高層次思考與批判思考能力 (Amirshokoohi, 2010)，較少回應真實世界的改變，較像是內化為個人尺度的培力。

同時，課綱中所揭示的關於「參與」的概念，有提及可設計的教學案例，如「以實例探討公民參與維護生物多樣性的可行方式」；或作為給定明確目標的參與行動，如「積極參與海洋保護行動」常以生態導覽和淨灘做為教學方式，往往是一種能體會到表象徵兆的活動 (activity)，而非能傳達、影響或改變其根本原因的行動 (action) (Jensen & Schnack, 1997)。縱有少數能直擊根本原因，解決實際社會議題，並形塑為政策發展方向，如前文提及有在地教師參與的雷裡溪廢水案 (杜文苓、李翰林, 2011) 和公民科學的發展，但仍屬少見的特例。參考這些特例，在學校教學的情境中，科學課室中可嘗試由師生實際能接

觸到的環境科學議題出發，引導學生在議題探究的過程，不只是追求精緻的專業知識，還能理解與涵容多元知識、文化與價值偏好(劉湘瑤, 2016)。

對今日臺灣的科學教育者，縱然非民主制度的研究專業，但有必要理解整體科學志業邁向參與的民主趨勢，更進一步的是意識到當近代民主體制正往參與式民主、審議式民主與科技民主等概念發展時，被民主所需要的科學教育，其經營也需要跟上民主發展的進程。科學教育歷經數次核心理念與方法等結構性的變革，對當代社會來說，已不只是科技發展的基礎，更是民主社會健全永續的基石。前文引述的 Harry Collins 和 Robert Evans，他們的重要著作《*Why Democracies Needs Science?*》，關注科學在民主社會中的重要性，文末願致敬此書書名，期以爬梳做為科學內在的研究實務、做為科學向社會推進的教育與傳播、以及將科學當作研究對象的科學之學的趨勢變化，以理解課綱與 PISA 開始強調公眾、參與、決策與行動時，其背後代表的人類社會如何看待科學本質變化的百年縱深。

參考文獻

- 杜文苓 (2010)。環評決策中公民參與的省思：以中科三期開發爭議為例。公共行政學報 (35)，29-60。 [https://doi.org/10.30409/JPA.201006_\(35\).0002](https://doi.org/10.30409/JPA.201006_(35).0002)
- 杜文苓、李翰林 (2011)。環境資訊公開的民主實踐課題-以霄裡溪光電廢水汙染爭議為例。臺灣民主季刊，8(2)，59-98。 <https://doi.org/10.6448/TDQ.201106.0059>
- 林陳涌、廖英凱 (2022)。科學傳播：傳播甚麼科學？。科技醫療與社會，(34)，247-255。 [https://doi.org/10.6464/tjsstm.202204_\(34\).0011](https://doi.org/10.6464/tjsstm.202204_(34).0011)
- 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。教育部。 https://www.naer.edu.tw/ezfiles/0/1000/attach/63/pta_18538_240851_60502.pdf
- 莫季雍 (2013)。各國科學傳播發展。載於臺灣科普傳播事業發展計畫-計畫辦公室。
- 陳恒安 (2011)。【STS 四不】首部曲：STS 不是科普也不是科技與人文大師對話。科學發展，84-86。 <https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd/download?source=10006/10006-15.pdf&vllId=A995E5EA-B30E-4FD7-AF76-511AE9526675&nd=0&ds=0>
- 黃俊儒、楊文金、靳知勤、陳恒安 (2008)。誰的 STS?-【科學教育】與【科學研究】的【同】與【不同】。科學教育學刊，16(6)，585-603。 <https://doi.org/10.6173/CJSE.2008.1606.02>
- 黃俊儒、羅尹悅 (2022)。從國族化科學到民主化科學之路：臺灣科學傳播的發展進程。科技醫療與社會，(34)，197-216。 [https://doi.org/10.6464/tjsstm.202204_\(34\).0008](https://doi.org/10.6464/tjsstm.202204_(34).0008)
- 趙金祁 (1996)。科學救國與科教興國。科學教育月刊，187，2-10。
- 劉湘瑤 (2016)。科學課室裡的環境議題教學：現況、機會與策略。載於邱美虹 (主編)，臺灣科學教育研究與實踐：機會與挑戰 (頁 468-489)。高等教育出版。
- 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，413，2-8。
- 蔡清田 (2010)。課程改革中的「素養」(competence) 與「能力」(ability)。教育研究月刊，200，93-104。
- 蔡清田 (2011)。課程改革中的「素養」(competence) 與「知能」(literacy) 之差異。教育研究月刊，203，84-96。
- 戴東源 (2012)。為何科學知識需要社會學的分析？：科學知識社會學初探。載於黃之棟、黃瑞祺、李正風 (主編)，科技與社會：社會建構論、科學社會學和知識社會學的視角 (頁 3-31)。群學出版。
- AAAS. (1951). Appendix A: The Arden House Statement. In S. G. Kohlstedt, M. M. Sokal, & B. V. Lewenstein (Eds.), *The Establishment of Science in America: 150 Years of the American Association for the Advancement of Science* (pp. 167-169). Rutgers University Press.
- Adams, J. D. (2012). Community Science: Capitalizing on Local Ways of Enacting Science in Science Education. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1163-1177). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_77

- Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Teachers College Press.
- Atkin, J. M., & Helms, J. (1993). Getting Serious About Priorities in Science Education. *Studies in Science Education*, 21(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/03057269308560012>
- Barton, D. (2007). *Literacy: An introduction to the ecology of written language*. Blackwell Publishing.
- Bencze, L., Pouliot, C., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J., & Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: defending and extending “science-in-context”. *Cultural Studies of Science Education*, 15(3), 825-851. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7>
- Bernal, J. D. (1939). The social function of science. *The Social Function of Science*. <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.188098>
- Birmingham, D., & Calabrese Barton, A. (2014). Putting on a green carnival: Youth taking educated action on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(3), 286-314. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21127>
- Blackburn, S. (2008). Boyle, Robert. In S. Blackburn (Ed.), *The Oxford Dictionary of Philosophy (2 rev. ed.)*. London: Oxford University Press.
- Bodmer, W. F. (1985). The public understanding of science: report of the Royal Society's ad hoc group. In London: The Royal Society.
- Bodmer, W. F. (1997). The public understanding of science. In *Biotechnology and world health: Risks and benefits of vaccines and other medical products produced by genetic engineering: proceedings of a WHO meeting* (pp. 19-22). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63726>
- Bodmer, W. F. (2010). Public Understanding of Science: The BA, the Royal Society and COPUS. *Notes and Records of the Royal Society*, 64(suppl_1). <https://doi.org/10.1098/rsnr.2010.0035>
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., & Wilderman, C. C. (2009). *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report*. C. f. A. o. I. S. E. (CAISE). <https://eric.ed.gov/?id=ED519688>
- Brossard, D., & Lewenstein, B. V. (2009). A critical appraisal of models of public understanding of science: Using practice to inform theory. In L. Kahlor & P. Stout (Eds.), *Communicating Science: New Agendas in Communication* (pp. 25-53). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203867631>
- Bryant, C. (2003). Does Australia need a more effective policy of science communication? *International Journal for Parasitology*, 33(4), 357-361. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(03\)00004-3](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(03)00004-3)
- Burns, T. W., O'Connor, D. J., & Stocklmayer, S. M. (2016). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public understanding of science*, 12(2), 183-202. <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>
- Bybee, R. W. (1997). Towards an understanding of scientific literacy. Scientific Literacy: An international symposium, Kiel, Germany.
- Bybee, R. W. (2012). Scientific Literacy in Environmental and Health Education. In A. Zeyer & R. Kyburz-Graber (Eds.), *Science | Environment | Health: Towards a Renewed Pedagogy for Science Education* (pp. 49-67). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3949-1_4
- Ceri, S. (2017). On the Big Impact of “Big Computer Science”. In H. Werthner & F. van Harmelen, *Informatics in the Future* Cham.
- Choung, H., Newman, T. P., & Stenhouse, N. (2020). The role of epistemic beliefs in predicting citizen interest and engagement with science and technology. *International Journal of Science Education, Part B*, 10(3), 248-265. <https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1774094>
- Chowning, J. (2009). Commentary: Why Societal Issues Belong in Science Class. *The Science Teacher*, 76(7), 8-8. <http://www.jstor.org/stable/24144938>
- Cleary, J., Peters, T. J., Sharp, D., & Hamilton, W. (2007). Clinical features of colorectal cancer before emergency presentation: a population-based case-control study. *Fam Pract*, 24(1), 3-6. <https://doi.org/10.1093/fampra/cml059>
- Collins, H. M., & Evans, R. (2016). The Third Wave of Science Studies. *Social studies of science*, 32(2), 235-296. <https://doi.org/10.1177/0306312702032002003>
- Collins, H. M., & Evans, R. (2017). *Why democracies need science*. John Wiley & Sons.

- Cross, R. T. (1999). The public understanding of science: implications for education. *International journal of science education*, 21(7), 699-702. <https://doi.org/10.1080/095006999290354>
- Dahl, R. A. (1989). *Democracy and its Critics*. Yale university press.
- Davis, R. (2009). The elusive gentleman scientist. *Scitable*. https://www.nature.com/scitable/blog/student-voices/the_elusive_gentleman_scientist/
- Davis, W. (1937). Popularization of Science. *Nature*, 139(3518), 578-579. <https://doi.org/10.1038/139578d0>
- 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-tea5>3.0.Co;2-1](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200008)37:6<582::Aid-tea5>3.0.Co;2-1)
- deLeon, P. (1990). Participatory Policy Analysis: Prescriptions and Precautions. *Asian Journal of Public Administration*, 12(1), 29-54. <https://doi.org/10.1080/02598272.1990.10800227>
- Dennis, M. A. (2017). Big Science. In *Encyclopædia Britannica*. London: Encyclopædia Britannica, inc.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education*. Macmillan Publishing.
- Dierkes, M., & von Grote, C. (Eds.). (2000). *Between Understanding and Trust: The Public, Science and Technology*. Routledge.
- dos Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2002). Humanistic science education from Paulo Freire's 'Education as the practice of freedom' perspective. International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) symposium-PR,
- Eisenhart, M., Finkel, E., & Marion, S. F. (1996). Creating the conditions for scientific literacy: A re-examination. *American Educational Research Journal*, 33(2), 261-295. <https://doi.org/10.3102/00028312033002261>
- Feinstein, N. W. (2015). Education, communication, and science in the public sphere. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(2), 145-163. <https://doi.org/10.1002/tea.21192>
- Feyerabend, P. K. (1978). *Science in a free society*. New Left Books.
- Fischer, F. (2009). *Democracy and Expertise: Reorienting Policy Inquiry*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199282838.001.0001>
- Fourez, G. (1997). Scientific and technological literacy as a social practice. *Social studies of science*, 27(6), 903-936. <https://doi.org/10.1177/030631297027006003>
- Gallagher, J. J. (1971). A broader base for science teaching. *Science Education*, 55(3), 329-338. <https://doi.org/10.1002/sce.3730550312>
- Hackmann, H., & Moser, S. (2013). Social and environmental change in a complex, uncertain world Introduction to Part 1. In H. Hackmann (Ed.), *World social science report, 2013: changing global environments* (pp. 67-70). UNSECO. <https://doi.org/10.1787/9789264203419-en>
- Haywood, B. K., Parrish, J. K., & Dolliver, J. (2016). Place-based and data-rich citizen science as a precursor for conservation action. *Conservation Biology*, 30(3), 476-486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cobi.12702>
- Heilbron, J. L. (1992). Creativity and Big Science. *Physics Today*, 45(11), 42-47. <https://doi.org/10.1063/1.881322>
- Hess, D. J. (1997). *Science studies: An advanced introduction*. NYU press.
- 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. (2005). What is scientific literacy and why do we need it? *Multiple perspectives on education and society in Newfoundland and Labrador*, 33(1-2). <http://www.mun.ca/educ/faculty/mwatch/fall05/hodson.htm>
- 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>
- Holbrook, J., Rannikmae, M., Coll, R., & Taylor, N. (2009). The Meaning of Scientific Literacy. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 275-288.
- Hurd, P. D. (1958). Science literacy: Its meaning for American schools. *Educational leadership*, 16(1), 13-16. http://www.ascd.org/ASCD/pdf/journals/ed_lead/el_195810_hurd.pdf
- Irwin, A. (1995). *Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development*. Routledge.

- Jenkins, E. W. (1992). School science education: towards a reconstruction. *Journal of curriculum studies*, 24(3), 229-246. <https://doi.org/10.1080/0022027920240302>
- Kloos, B., Hill, J., Thomas, E., Wandersman, A., Elias, M. J., & Dalton, J. H. (2012). *Community psychology: Linking individuals and communities*. Wadsworth/Cengage Learning.
- Knight, D. (2006). *Public understanding of science: a history of communicating scientific ideas*. Routledge.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84(1), 71-94. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200001\)84:13.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:13.0.CO;2-C)
- Lee, H.-S., & Butler, N. (2003). Making authentic science accessible to students. *International journal of science education*, 25(8), 923-948. <https://doi.org/10.1080/09500690305023>
- 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. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4563-6_2
- McCurdy, R. C. (1958). Toward a population literate in science. *The Science Teacher*, 25(7), 366-408.
- Merton, R. K. (1973). *The sociology of science: Theoretical and empirical investigations*. University of Chicago press.
- Myers, F. S. (1992). Big-science worries at the OECD. *Physics World*, 5(4), 5. <https://doi.org/10.1088/2058-7058/5/4/2>
- Oberg, J. (1979). The failure of the 'science' of UFOlogy. *New Scientist*, 84(1179), 102-105. <https://www.debunker.com/texts/ObergCuttySark.html>
- OECD. (2016). *PISA 2015 Results (Volume I)*. <https://doi.org/10.1787/9789264266490-en>
- OECD. (2019). *OECD FUTURE OF EDUCATION AND SKILLS 2030: OECD LEARNING COMPASS 2030* OECD.
- Pella, M. O., O'Hearn, G. T., & Gale, C. W. (1966). Referents to scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 4(3), 199-208. <https://doi.org/10.1002/tea.3660040317>
- Petersen, I., Heinrichs, H., & Peters, H. P. (2010). Mass-Mediated Expertise as Informal Policy Advice. *Science, Technology, & Human Values*, 35(6), 865-887. <https://doi.org/10.1177/0162243909357914>
- Potočnik, J. (2007). Summary of the Science in Society session on Public Engagement in Science. Portuguese Presidency Conference,
- Rieckmann, M. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO publishing. <https://doi.org/10.54675/CGBA9153>
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 743-794). Lawrence Erlbaum Associates.
- Ross, S. (2006). Scientist: The story of a word. *Annals of Science*, 18(2), 65-85. <https://doi.org/10.1080/00033796200202722>
- Rutherford, F. J., & Ahlgren, A. (1991). *Science for All Americans: Project 2061*. Oxford University Press. <http://www.project2061.org/publications/sfaa/>
- Ryder, J. (2002). School science education for citizenship: Strategies for teaching about the epistemology of science. *Journal of curriculum studies*, 34(6), 637-658. <https://doi.org/10.1080/00220270210148434>
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42. <https://doi.org/10.1080/03057260802681839>
- Sagan, C. (1995). *The demon-haunted world. Science as a candle in the dark*. Random House.
- 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>
- Segen, J. C. (1992). Gentleman scientist. In *The Dictionary of Modern Medicine*. <https://books.google.com.tw/books?id=FbSlyshjOoC&pg=PA246>
- Shamos, M. H. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. Rutgers University Press.
- Siarova, H., Sternadel, D., & Szóny, E. (2019). *Research for CULT Committee – Science and Scientific Literacy as an Educational Challenge*. Brussels: European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies
- Sinatra, G. M., & Hofer, B. K. (2016). Public Understanding of Science: Policy and Educational Implications. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2), 245-253.

- <https://doi.org/10.1177/2372732216656870>
- Sismondo, S. (2007). *An Introduction to Science and Technology Studies* [科學與技術研究導論] (林宗德, Trans.). 群學.
- Socientize. (2014). *Green paper on Citizen Science for Europe: Towards a society of empowered citizens and enhanced research*. European Commission Retrieved from <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/green-paper-citizen-science-europe-towards-society-empowered-citizens-and-enhanced-research>
- Spurgeon, D. (1986). Editorial. *Impact of Science on Society*, 144, 337-339.
- Stilgoe, J., Lock, S. J., & Wilsdon, J. (2014). Why should we promote public engagement with science? *Public understanding of science*, 23(1), 4-15. <https://doi.org/10.1177/0963662513518154>
- Stocklmayer, S. M., & Gilbert, J. K. (2002). New experiences and old knowledge: Towards a model for the personal awareness of science and technology. *International journal of science education*, 24(8), 835-858. <https://doi.org/10.1080/09500690210126775>
- Stocklmayer, S. M., & Rennie, L. J. (2017). The Attributes of Informal Science Education: A Science Communication Perspective. In P. G. Patrick (Ed.), *Preparing Informal Science Educators: Perspectives from Science Communication and Education* (pp. 527-544). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50398-1_26
- Thomas, G., & Durant, J. (1987). Why should we promote the public understanding of science? In M. Shortland (Ed.), *Scientific Literacy Papers* (pp. 1-14). Department for External Studies, University of Oxford.
- Valentine, A. J. (2010). Comment on 'Big science, little science'. *EMBO reports*, 11(3), 152-152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/embor.2010.16>
- Varela-Losada, M., Vega-Marcote, P., Pérez-Rodríguez, U., & Álvarez-Lires, M. (2015). Going to action? A literature review on educational proposals in formal Environmental Education. *Environmental Education Research*, 22(3), 390-421. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1101751>
- Weinberg, A. M. (1961). Impact of Large-Scale Science on the United States: Big science is here to stay, but we have yet to make the hard financial and educational choices it imposes. *Science*, 134(3473), 161-164. <https://doi.org/10.1126/science.134.3473.161>
- Yacoubian, 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. C. D. Tan & M. Kim (Eds.), *Issues and Challenges in Science Education Research* (pp. 5-23). https://doi.org/10.1007/978-94-007-3980-2_2
- 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, pp. 697-726). Routledge.
- Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, 89(3), 357-377. <https://doi.org/10.1002/sce.20048>