

發展地方本位教育多重表徵教學模組對國中生 學習成效之研究——以力矩與轉動單元為例

李柏賢

國立彰化師範大學
物理學系博士生

林建隆

國立彰化師範大學
物理學系兼任教授

林登敏*

國立彰化師範大學
師資培育中心兼任助理教授

摘要

本研究探討地方本位教育（Place-Based Education, PBE）多重表徵教學模組，對國中生力矩與轉動單元學習成效之影響。其中力矩與轉動為國中自然科學領域中重要的核心概念之一，且屬於較抽象、困難的單元；本教學模組結合學生日常生活及扇形車庫等在地文化，並透過多重表徵的方式進行教學，研究結果發現可以提升學生對於力矩與轉動概念的理解，並增進學習成效之目的。本研究採行動研究法，研究參與者為臺灣中部某都市國中九年級兩個常態班級。資料收集包含：團隊會議紀錄、教師教學日誌及力矩與轉動成就測驗等。研究結果發現，研究團隊透過文獻分析與實作，設計在地文化、生活經驗，以多重表徵呈現科學概念能有效提升學生學習成效。就量化分析而言，力矩與轉動成就測驗結果，兩循環後測均顯著優於前測。質性分析於知識面：教師融合地方特色教學、實物操作以及探究式教學，並提供力圖等使用多重表徵，使學生能在生活應用力矩概念；態度面：學生學習動機提升，促進反思成長環境蘊含之科學概念；能力面：學生能應用槓桿原理於日常生活中，並使用多重表徵與同儕交流，增進互動的能力。本研究可作為未來國中自然科學領域相關抽象單元之教學參考。

關鍵詞：力矩與轉動、地方本位教育、多重表徵、學習成效

* 通訊作者：林登敏，Email: mikojp1221@yahoo.com.tw

來稿日期：2024年9月9日；修稿日期：2025年5月19日；採用日期：2025年6月3日

本文為碩士論文改寫

The Effectiveness on a Multiple Representations Based PBE Module for Teaching the Conceptions of Torque and Rotation at Junior High Level

Bo-Shian Li

PhD Student,
Department of Physics,
National Changhua University of
Education

Jang-Long Lin

Adjunct Professor,
Department of Physics,
National Changhua University of
Education

Deng-Min Lin*

Adjunct Assistant Professor,
Center for Teacher Education,
National Changhua University of
Education

Abstract

This study explores the impact of a Place-Based Education (PBE) multi-representational teaching module on junior high school students' learning outcomes in the unit of torque and rotational motion. Torque and rotational motion are among the core concepts in the junior high school science curriculum and are considered abstract and challenging topics. The teaching module integrates students' everyday life experiences and local culture—such as the fan-shaped garage—and employs multiple representations for instruction. The results show that this approach enhances students' understanding of torque and rotational motion concepts and improves their learning outcomes. The study adopts an action research methodology. Participants were two regular ninth-grade classes from a junior high school in an urban area in central Taiwan. Data collection included team meeting records, teacher teaching journals, and a torque and rotational motion achievement test. Findings indicate that the research team, through literature analysis and hands-on practice, designed science instruction that incorporates local culture and everyday experiences, using multiple representations to effectively enhance students' learning outcomes. In terms of quantitative analysis, the post-test scores from two teaching cycles were significantly higher than the pre-test scores. Qualitative analysis revealed the following: Knowledge aspect: Teachers incorporated local features, hands-on activities, and inquiry-based learning. Using diagrams and other multiple representations, students were able to apply torque concepts to real-life situations. Attitudinal aspect: Students' learning motivation increased, prompting them to reflect on the scientific concepts embedded in their surroundings. Skill aspect:

* Corresponding author: Deng-Min Lin, E-mail: mikojp1221@yahoo.com.tw

Manuscript received: September 9, 2024; Modified: May 19, 2025; Accepted: June 3, 2025

This article is a revised version of a master's thesis

Students could apply the principle of levers in daily life and use multiple representations to communicate with peers, thereby enhancing their interaction skills.

Keywords: Torque and Rotation, Placed-Based Education, Multiple Representation, Learning Effectiveness

壹、緒論

一、研究背景與動機

表徵在教學中扮演著重要媒介，除幫助學生進行訊息解釋、組織數據外，更是學生學習時降低學習負荷的重要管道（Wu & Krajcik, 2006）。許多實證性的研究也指出，表徵的應用是提升學生學習成效的重要因素，學生會透過表徵來呈現概念與表達資訊、現象（Waldrip & Prain, 2012）。但每個學生的多元智能、自我期望、先備知識與後設認知能力皆不盡相同，儘管是承載著相同訊息的不同表徵，不同學生的感受與認知也會有所差異（Kohl & Finkelstein, 2005）。相較於使用單一表徵，教師提供多重表徵的教學，更有助於提升學生的學習成效（Larkin & Simon, 1987）。多重表徵教學不僅可以提升學習者在物理、化學等科學學科的學習成效（張英琦, 2019），亦能讓學生看見概念間的關係，使學生對於科學的體會與概念發展有更深入的瞭解（左台益、蔡志仁, 2001；Wu & Puntambekar, 2012）。因此，建立多重表徵教學環境是科學教育當前最重視的關鍵之一（Ainsworth, 1999; Waldrip et al., 2010）。

然而儘管使用多重表徵教學，學生也未必能夠將知識充分吸收。教師在教學時，若沒將教學內容與學生的生活經驗連結，引起學生學習動機，只是單純解釋如何應用科學思想的話，無法將教學效能最大化（Cairns, 2019）。而地方本位教育（Place-Based Education, PBE）強調使用在地文化環境進行教學，將生活經驗、地方特色融入課程中，可有效提升學生學習動機（吳清山, 2018），幫助學生提升學習成效與增強家鄉認同感，進而讓學生能養成主動學習的好習慣（洪萱芳等人, 2016）。將學生生活經驗與多重表徵結合，以學生為本位進行教學，可使學習的脈絡更具意義，而若由多重表徵建立知識與概念，再由PBE將學習內容賦予故事性，可讓抽象化的科學知識更容易被學生理解且進入長期記憶（Dekker, 2015），此乃本研究的研究動機之一。

國中自然科學領域中，力矩與轉動是相當重要的核心概念之一，日常生活也充斥許多力矩與轉動概念相關的例子，如：掃把、剪刀、釘書機等使用方式皆應用到力矩與轉動的概念。然而力矩與轉動單元屬於較抽象的單元，過去許多研究皆顯示學習力矩與轉動單元易讓學生在學習時產生困難（李曉雯等人, 2008；徐順益、張惠博, 2001；徐順益等人, 2004），而使用多重表徵進行教學，可以幫助學生對於力矩與轉動概念有更深刻的體會，提升學習成效（Tang et al., 2019），此乃研究動機之二。

以在地特色或是生活經驗教導科學概念時，需透過大量的表徵呈現，且本研究地點為臺灣中部某縣市，隨著早期海線的開發，成為山、海線鐵路交會處，鐵路運輸的樞要位置，縣內特

有的鐵路國定古蹟中，蘊含許多力矩與轉動的在地知識。因此本研究採行動研究法，發展PBE多重表徵教學模組於力矩與轉動單元進行教學，期許讓學生能夠克服學習力矩與轉動的抽象概念，並進而提升學習成效，同時協助教師反思並增進於力矩與轉動單元的教學。

二、研究目的與待答問題

本研究採行動研究法，目的旨在探討發展PBE多重表徵教學模組力矩與轉動單元的困難，與對中部地區九年級學生教學過程所遭遇的問題與解決策略，及學生在學習力矩與轉動單元之學習成效。

待答問題如下：

- (一) 發展PBE多重表徵力矩與轉動教學模組所遭遇之困難與解決策略為何？
- (二) 實施PBE多重表徵力矩與轉動教學模組所遭遇之困難與解決策略？
- (三) PBE多重表徵力矩與轉動教學模組對國中生的學習成效影響為何？

貳、文獻探討

一、PBE

Somerville (2010) 意識到地方之於教育的重要性，提出PBE應符合三個原則：

- (一) 學習者與地方連結建立在地故事、音樂等形式。
- (二) 透過地方學習是具體、實際的。
- (三) 地方是一個深度學習與競爭的場所。

PBE課程注重學生個體的在地經驗，透過引導討論的方式，讓學生主動創造知識，並強調從所處的地方環境中開始學習 (Smith, 2002)。Brody (2005) 認為學習都應連結當地真實環境，透過互動使教師與學習者產生新的資訊，進而調整其認知結構。在這逐漸全球化的世界，地方提供了重要的整合性課程架構，依地方去設計課程才可在這個逐漸全球化的時代，讓我們更瞭解自己與我們居住的地方 (Somerville, 2010)。PBE是將生活情境與課程結合的好方法 (吳清山, 2018)，若能將PBE為本的探究式教學融入在課程中，並提供實例，能有效提升學生學習成效 (翁上峯、林建隆, 2025)。Peterman等人 (2015) 以PBE為背景設計工具，對55名國小學生進行個案研究，透過前、後測比較學生在經過PBE的教學後，對圖形解釋的能力是否提升。研究結果發現：(一) PBE提供一個理想的環境，讓學生在自然科學的課程中習得圖形解釋的技能。(二) 當學生在使用與自身真實生活數據相關之圖表時，學生解釋圖表的技能

會得到顯著提升。

二、多重表徵

表徵是教學過程中用以傳遞知識的重要媒介，多重表徵是指將同樣概念與知識透過不同的表徵呈現，例如：動畫、圖片、聲音、數學關係式等，相同概念用不同的表徵呈現的樣貌皆不同，且不同形式的表徵所傳達的現象也不盡相同（Boulter & Buckley, 2000）。

Ainsworth（1999）認為教學中使用一種以上的表徵教學，更易提升學習者興趣，且多重表徵具有三種功能：（一）互補角色、（二）限制詮釋、（三）建構深層理解，以上三種功能可以幫助學習者提升學習成效。以下為Ainsworth對此三種功能之詳述：

- （一）互補角色：相同知識用不同表徵來表示，其包含的部分訊息會有所不同，且因學習者的多元智能、學習策略、學習任務不同，也導致其差異。因此當學習者以不同的表徵進行學習時，可獲得更全面的資訊。
- （二）限制詮釋：當學習者對於第一個表徵上有錯誤理解，可由第二個表徵詮釋或是矯正其錯誤訊息。
- （三）建構深層理解：多重表徵能幫助學習者對知識有更深層的理解，透過多重表徵達到抽象、延伸以及關聯等次要功能，可以整合來自不同表徵內的訊息，產生一個新的見解，甚至在新的情境中運用此見解，進而達到學習遷移。

而使用多重表徵教學，若沒引起學生的學習動機，只是單純的解釋如何應用科學思想的話，學生能提升的學習成效有限（Cairns, 2019）。在教學過程中營造好的多重表徵環境，是學生獲得良好學習與效率的方式之一。

物理教學中常用到各種不同表徵。其中，文字表徵是指以文字的方式描述科學現象或是科學想法，透過文字的呈現使學習者在學習過程中建立問題與形成解釋（Wu & Puntambekar, 2012）。圖像表徵是可以將資訊視覺化的表徵（Waldrip & Prain, 2012）。圖像表徵的運用有助於學習者藉由心像的建立，瞭解知識脈絡與形成邏輯思維（Koedinger & Nathan, 2004）。但圖像表徵亦受到學習者自身的文化限制，相同的圖像由不同角度會看到不同的內容（Levie, 1987）。因此，教師若以PBE進行教學，有助於降低學習者因文化背景所造成的限制。隨著科技演進，教學不再侷限於靜態方式呈現，動態表徵也是課堂中常使用的教學表徵。而在科學的教學中，數學表徵也扮演重要的角色（Kuo et al., 2013）。數學表徵是學習者在解題過程中相對重要的一種方式，相較文字有更高的答對率（劉家樟等人，2012）。在物理，數學符號有其特定的物理意義，而要能真正學會物理概念，必須整合數學表徵與物理概念的推理（Kuo et al.,

2013)。教師引導科學概念學習時，不同表徵的適合使用時機會因科學概念而有所不同，在教學不僅是要使用多重表徵讓學生可以多元的瞭解科學知識而已，教師也要能妥善運用多重表徵。

多重表徵學習是建立學生抽象概念的好方法 (Pals et al., 2018)。透過多重表徵學習不只有幫助學習者有更豐富的概念理解，更可以幫助教師對學生的思維有更深入的了解 (Prain et al., 2009)。Peterman等人 (2015) 研究結果也發現，以在地文化類型如線型、條型、點圖等多重表徵進行教學，不僅可提高學生學習動機，更可幫助學生在學習時較容易達到精熟。有鑑於多重表徵的應用能支持學習者在不同情境學習，運用每個表徵的優勢補足其限制，讓學生在學習有更深入的理解，提升學生學習成效；且使用在地特色或生活經驗進行教學大多使用多重表徵來呈現，因此本研究採用PBE與多重表徵進行課程設計。

三、力矩與轉動相關實證性研究

力矩與轉動單元是國中自然科學領域與日常生活應用的重要核心概念，其抽象且複雜的特性，包含了文字、表格、圖形、力圖、數學等多重表徵 (Chang et al., 2021)。其中，圖像表徵是視覺化的表徵，可整合龐大的文字訊息，以呈現概念或情境，降低閱讀文字表徵的認知負荷 (柯志恩、黃一庭, 2010; Waldrup & Prain, 2012)。力圖表徵則具較明確的物理意義，且與物理原理或概念密切相關，在力矩與轉動單元中常用力圖表徵來進行推論，藉由將簡單機械的使用簡化成線條圖來表示，學生可更聚焦在物理概念的關鍵重點 (van der Meij & de Jong, 2004)。數學表徵於物理的應用，意指使用數學符號或方程式來呈現基本的定律或概念 (Wu & Puntambekar, 2012)。

Tang等人 (2019) 採質性研究，以6位教師與225位學生為研究對象，設計繪畫學習融入PBE探究，研究學習者在旋轉力矩和化學鍵主題中的學習狀況，分析學生在繪畫與書面上的解釋，和學生課堂中與老師的對話，並以繪畫方式幫助學生將抽象概念具體展現。研究發現，學生在PBE探究中的預測階段學習力矩概念時，容易將力跟力矩概念重疊，而少數學生在繪畫時不會將轉動方向與轉動效果畫出來；透過繪畫學習，可以幫助學生將力與力矩的概念更加釐清，幫助學生提升學習成效。

參、研究方法

一、研究方法與設計

本研究採用行動研究法，並採用Carr與Kemmis (1986) 提出之自身反思螺旋模式，依序為計畫 (plan)、行動 (act)、觀察 (observe)、反思 (reflect)。

本研究旨在探討中部某國中九年級學生，經PBE多重表徵教學模組力矩與轉動單元的學習成效。為達成目的，研究者在每個循環各選擇一個常態班級，共施行兩個循環之行動研究。兩個循環的學生均先在教學前完成力矩與轉動成就測驗前測，並於教學後一週內進行成就測驗後測，每一循環各教學六節課。

二、研究者背景理念與研究團隊

研究者畢業於中部某師資培育大學物理系，大學期間修習中等教育師培學程，取得符合《十二年國民基本教育課程綱要》（簡稱108課綱）中等學校自然科學領域物理專長合格教師證書。

研究者發現國中生在學習時常只將知識背誦記憶，而無法應用解題背後的科學原理於日常生活中。研究者認為，自然科的學習內容也應與學生在地成長環境與生活經驗結合，除了給予學生機會親身體驗科學現象，也應透過多元的方式如文字、實物、模型、圖片、動畫等方式探究科學概念；其中力矩與轉動單元較為抽象且其概念常應用於日常生活之中，若能使用PBE多重表徵輔助學生學習，應能提升學生學習成效，應用於日常生活，解決實際問題。這樣的學習方式可以讓學生更深入地探索科學世界，也可以提高學生的學習動機和興趣。

除研究者外，本研究亦邀請科教領域專長之P教授及中部地區國中自然科學資深教師T教師，共同組成PBE多重表徵教學實務教師社群，擔任本課程之專家審查諮詢團隊。

三、研究參與者與情境

本研究的背景是在研究者任教的中部某都會區大型國中，共有60個班級、超過1,500名學生，其中九年級有21個班級，皆為常態編班。全校九年級學生共586位，在全國第一次模擬會考中成績A（精熟）至A++的人數約有一成；B（基礎）至B++的人數約有七成；C（待加強）的人數約有二成。此校四分之一的家庭為隔代教養、單親或外籍配偶，且學生的家長多從事服務業。由於學生面臨著升學壓力，因此上補習班的風氣盛行。在學習自然科學的過程中，學生通常習慣於以記憶公式和課本內容的方式來解決問題，不擅長透過理解科學現象背後的概念以及應用原理來解決問題。然而，相較於傳統講述式的教學，學生更喜歡透過實作課程來進行探究學習。透過實際的親身探究，研究者發現學生更能深刻地理解相關概念的應用。

研究之第一、二循環研究參與者皆為中部某縣市國中九年級生，同時也是研究諮詢者之一T教師的任教班級，約有一半的學生對於自然科學領域課堂學習興趣較低。第一循環班級於全校21個班級中，全國模擬會考自然科學領域排名第8名，第二循環班級排名第6名，兩班級全國模擬考成績接近，且於國小曾學過槓桿原理基礎概念。第一循環學生共26人，其中男生13人，

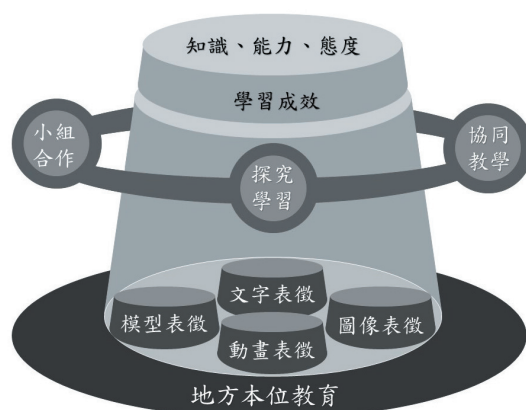
女生13人。班級上課時較文靜，學生不習慣上課時舉手發問，通常於下課時間請教老師或是同學學科問題，班級氣氛和諧，私下與老師互動良好。第二循環學生共23人，其中男生12人，女生11人，班級上課時較活潑，喜歡上課時間與老師討論，班級氣氛融洽，私下與老師互動良好。

在進行本研究前，第一循環班級和第二循環班級的任課教師T主要使用講述式教學方法，並使用多媒體呈現教學內容，教室座位採用傳統的直排式分布。本研究課程活動採用小組合作學習法，研究分組依據教學前學生在本學期第一次段考的自然科分數，和力矩與轉動前測問卷的平均成績，將得分位於全班前27%的學生分類為高成就組，得分位於全班後27%的學生分類為低成就組，其餘的學生分類為中成就組。課程中根據成績與性別進行異質性分組，將全班學生分成五組，每組5–6人，各組皆存在高、中、低成就學生至少1名。本研究教學後之晤談對象選取依據，採用力矩與轉動後測成績，分別於高、中、低成就組各隨機抽取2位，每一循環各取至少6位進行晤談。

四、教學模組設計

本研究之教學模組設計以PBE為整個教學活動的基礎，教學中強調生活經驗或在地文化，並以多重表徵呈現科學知識，教學策略為探究式教學，學生上課採小組分組進行，課程發展前、中、後會與研究參與者P教授與T教師共同備、觀、議課，希冀提升學生之學習成效。以活動一扇形車庫的秘密為例，首先以地方特色或生活經驗中的科學概念作為上課主題，並呈現其相關的表徵，如：用扇型車庫的歷史故事引起學生動機，結合轉車臺電力室施力矩轉動的影片、扇型車庫的照片、操作扇型車庫的模型，講解扇型車庫轉車臺轉動過程中力矩的概念。PBE多重表徵教學課程設計圖如圖1所示。

圖1
PBE多重表徵教學課程設計圖



五、研究工具

本研究所採用之研究工具為力矩與轉動成就測驗（前、後測）與半結構式晤談問卷。各項試題發展流程與內容如下。

（一）力矩與轉動成就測驗前、後測試題

本研究的成就測驗是以力矩與轉動為單元內容所發展的單一選擇題試卷，為研究者與研究夥伴共同編制，試題的發展根據表1力矩與轉動單元科學概念命題陳述，參考教育部（2018）並搭配南一版自然科學教師手冊，以及力矩與轉動單元相關文獻，總題數共25題。試題編制過程利用Anderson與Krathwohl（2001）所整理之Bloom的新版教育目標，分類建構力矩與轉動成就測驗雙向細目表，如表1，建構試題的內容效度，並請P教授及資深T教師進行專家審查，具專家效度。本試題預試以中部某一所女子高級中學一年級已學完國中力矩與轉動單元的班級，共37位學生進行預試，確保本成就測驗之表面效度與內部一致性，得到KR-20（Kuder-Richardson Formula 20）值為.722。

（二）半結構式晤談問卷

為了瞭解學生在力矩與轉動單元中，經過PBE多重表徵教學後，學習成就改變的情形為何，針對每班成就測驗後測之高、中、低成就學生群，各隨機抽取2名進行半結構式晤談。因學習者於記憶類型題目答對率較高，分析類型題目答對率又偏低，兩者鑑別度較差，因此本問卷選取理解與應用類型題目為晤談問題。晤談問題係選取第一循環後測中，學生分別在Anderson與Krathwohl（2001）認知歷程中，理解與應用類別答對率最低的題目，分別為第8題與第12題，以理解在第一循環教學後學生的學習困難為何，並作為第二循環教學修訂之參考，以及第二循環是否成功解決第一循環遭遇問題之依據。於第二循環同樣發展半結構式晤談問卷，以理解第二循環教學後學生學習困難為何。

六、研究流程

本研究的設計和實施流程可以分為兩個循環。下面詳細描述這兩個循環所經歷的研究流程。

（一）第一循環

本循環包含計畫、行動、觀察和反思四個步驟。以下詳細描述每個步驟的執行內容：

表1
力矩與轉動成就測驗雙向細目表

科學命題陳述	教學目標				題數
	記憶	理解	應用	分析	
一物體繞著一個軸運動稱之為轉動，物體繞「軸」轉動的軸稱之為支點或轉軸。	1	5、19	25		4
力矩是由力臂與力交互作用後形成的向量物理量，具有大小與方向，力矩的大小等於力臂乘上作用力，方向依照施力與力臂方向可能為順時針或逆時針。	10		3	16	3
力臂是從轉軸或支點到力作用線的垂直距離，依據施力與抗力分為施力臂與抗力臂。	2	8	7		3
力矩可以改變轉動狀態（初始狀態靜止的物體，受力矩作用後，即可產生轉動，若物體初始狀態為轉動，經力矩作用，則可能使物體轉動狀態變快、變慢或改變轉動的方向）。	13		11	12	3
物體所受合力矩等於零的時候，物體轉動狀態不改變（可能為靜止或等角速度轉動），稱為物體達轉動平衡。				23	1
槓桿所受合力矩為零時，槓桿保持轉動平衡。亦即施力臂×施力=抗力臂×抗力（ $R_1 \times F_1 = R_2 \times F_2$ ）。			14、15		2
槓桿有分三種類型，分別為第一類槓桿、第二類槓桿、第三類槓桿。第一類槓桿支點在中間，可以改變施力方向，以便施力；第二類槓桿抗力點在中間，省力費時；第三類槓桿施力點在中間，費力省時。				17、18、24	3
能繞中心輪軸自由轉動的輪，稱為「滑輪」，可分為定滑輪與動滑輪兩種，滑輪轉動平衡時，滑輪所受之合力矩為0，亦即 $R_1 \times F_1 = R_2 \times F_2$ 。動滑輪的抗力點在中間，省力費時。		22	20、9	21	4
輪軸是由2個或以上半徑不同的圓輪所組成，將這些圓輪固定在同一轉軸所構成的簡單機械，半徑大的稱為輪，半徑小的稱為軸；輪軸系統平衡時，輪軸所受合力矩為0，亦即 $R_1 \times F_1 = R_2 \times F_2$ 。施力在輪上省力費時；施力在軸上，費力省時。	4		5		2
總題數	5	4	9	7	25

1. 計畫：確認研究主題與教學範圍，並透過過去教學及文獻探討發現學生學習力矩與轉動單元時感到困難，PBE能有效提升學生的學習興趣，搭配多重表徵能有效提升學習成效。因此發展PBE多重表徵教學模組，希冀透過在地文化提升學生學習動機，搭配多重表徵進行教學，讓學生學習成效提升，在發展期間與研究團隊進行會議討論與共同備課，並進行成就測驗的編制與預試，發展晤談學生時所使用之半結構式晤談問卷。
2. 行動：實施教學活動，教學策略包含小組合作學習、探究教學、協同教學，並蒐集學生成就測驗的前後測結果、學生於學習活動中之學習單、教學過程錄影資料，研究團隊共同備課、

觀課及議課，記錄影音及書面資料、學生半結構晤談單、教師日誌等資料。

3. 觀察：統整第一循環教學活動所蒐集之資料，並進行研究資料分析，和研究團隊進行下一步驟教學反思之執行結果與問題清單。
4. 反思：研究者與研究團隊議課，發現部分學生因不曾去過扇形車庫，因此對當地環境有所不解。針對本循環觀察步驟所羅列之清單，討論第一循環執行結果與遭遇困難及其解決策略，作為下一循環計畫之參考。

（二）第二循環

本循環同樣包含計畫、行動、觀察和反思四個步驟。以下詳細描述每個步驟的執行時間和執行內容：

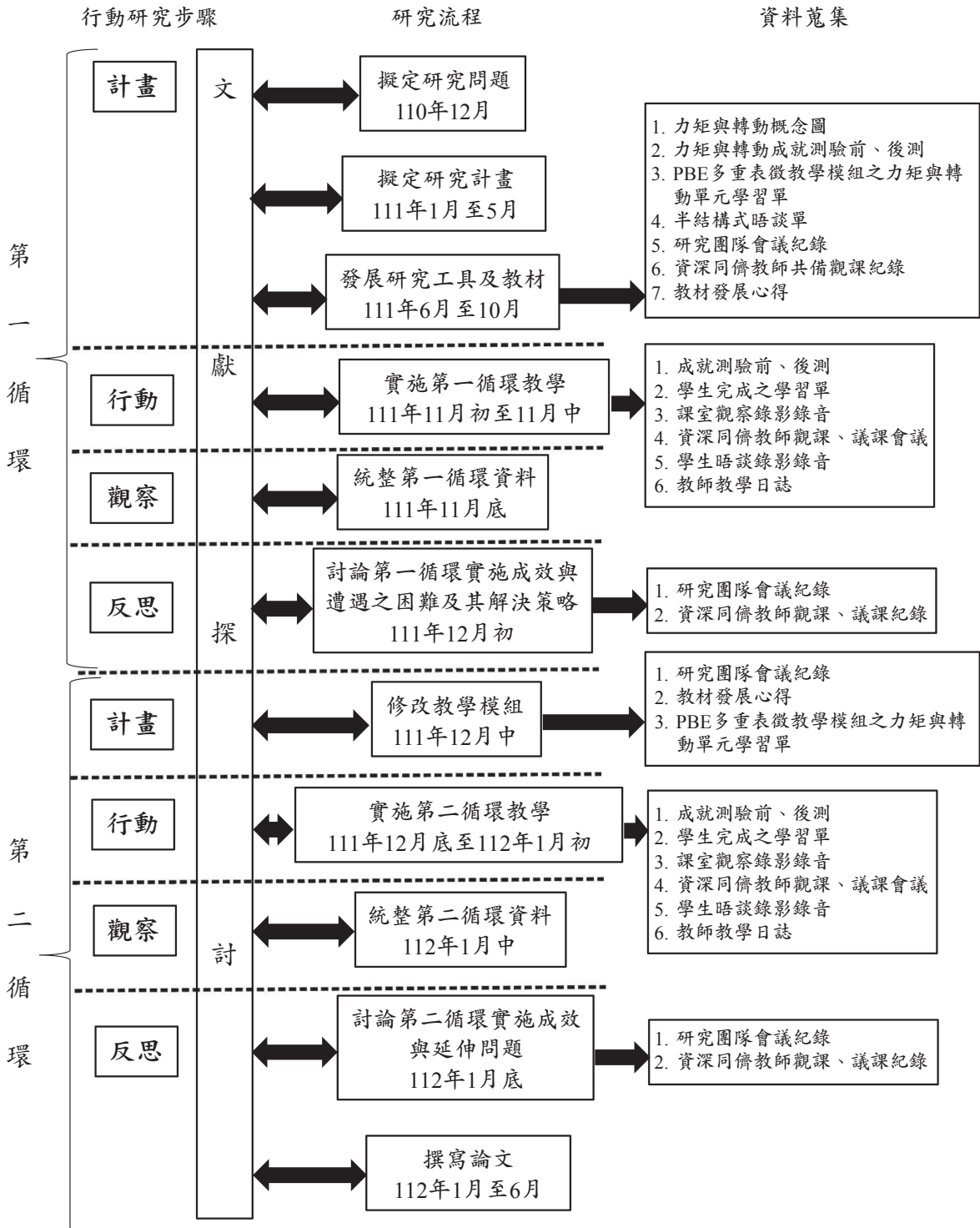
1. 計畫：研究者與研究團隊共同備課，並新增模型表徵於第二循環之教學中，利用具體的模型表徵引導學生瞭解轉車臺之原理，使學生透過模型具體思考，理解力矩相關科學概念。
2. 行動：施行第二循環教學活動，新增模型表徵至課堂中，並且增加扇形車庫其文化背景之解說，透過補充在地文化背景與模型，讓學生能有更高的動機與更具體的思考，期間蒐集學生成就測驗的前後測結果、學生於學習活動中之學習單、教學過程錄影資料，研究者與研究團隊共同備課、觀課及議課，記錄影音及書面資料、學生半結構晤談單、教師日誌等資料。
3. 觀察：統整第二循環教學活動所蒐集之資料，並進行研究資料分析。
4. 反思：本循環已解決學生對扇形車庫模型表徵的力矩概念，增進學習動機與成效，本研究之二循環如圖2所示。

七、資料蒐集與分析

本研究之資料收集如下：

- （一）研究諮詢會議紀錄：在中部某師範大學與T教師、P教授進行研討會議，針對研究設計和遭遇的困難提供建議。
- （二）教材發展心得：在發展PBE多重表徵教學模組的階段中，研究者撰寫了教材發展心得，針對教材和教學活動設計過程中發現的問題進行了反思。
- （三）研究諮詢者教師共同備課紀錄：在教學活動的發展過程中，研究者利用在校空堂時間與T教師進行了不定期討論，針對教材發展過程中遇到的問題進行了深入的討論。研究者記錄了討論過程，作為教材發展過程的紀錄。

圖2
研究循環圖



- (四) 力矩與轉動成就測驗前、後測：在實施力矩與轉動單元的PBE多重表徵教學之前一週實施前測，在教學後一週內實施後測，前、後測驗題目相同，測驗時間為30分鐘。透過前、後測的比較，可以瞭解學生力矩和轉動單元的學習成效，在PBE多重表徵教學之後的提升情形。
- (五) PBE多重表徵教學模組之力矩與轉動單元學習單：教學活動期間，學生運用PBE多重表徵來表示所觀察到的力矩和轉動現象，並在學習單中記錄。透過學習單，可瞭解學生在力矩和轉動單元使用PBE多重表徵的情形。
- (六) 課室錄影錄音：研究者會使用錄影和錄音的方式，記錄每堂教學中教師與學生的互動情況，作為教學活動的參考。
- (七) 研究諮詢者教師觀課和議課紀錄：研究者實施教學活動過程中，利用在校空堂時間與T教師進行不定期討論，針對教學實施過程中遇到的問題進行了深入的討論。研究者記錄了討論過程，作為教學實施過程的紀錄。
- (八) 學生晤談資料：研究者會從高、中、低成就群學生中各抽取2位進行半結構式晤談，晤談對象採立意取樣，挑選前、後測進步最大的6位學生作為晤談對象，針對力矩與轉動成就測驗前、後測，以及教學內容、上課情形與學生在教學活動中的學習單作答，以瞭解學生在教學活動中所遭遇的困難和問題，確認學生真正的想法和學習成效。
- (九) 教師教學日誌：研究者在每次授課後撰寫教師日誌，記錄教學過程中所遭遇的問題和其解決策略。

八、資料分析

本研究資料分為量化資料與質性資料，兩者的分析分述如下。

(一) 量化資料分析

將力矩與轉動成就測驗前、後測利用SPSS.20軟體進行成對樣本 t 檢定分析，試題共25題，分別瞭解第一循環與第二循環的學生學習成效是否有達顯著差異，再以兩循環後測共變數量化分析，瞭解第二循環後測的學生學習成效是否有達顯著差異。

(二) 質性資料分析

本研究學習成效的質性資料分析，依據108課綱將素養導向的學習成效分成三個面向，分別是知識、態度與能力。所使用的質性資料來源包括研究者、研究諮詢者與P教授共備觀議課

影音和書面資料、課堂學生填寫的學習單、課室錄影錄音，以及研究者的教師日誌。本研究將質性資料轉錄成原案，再依據開放編碼的方式進行分析，將資料依據現有的力矩與轉動科學命題和概念類別進行檢視並分類，歸納出研究發現的主張。

為確保資料的可靠性，本研究以人員分析和資料來源的三角校正進行分析。資料來源的三角校正利用不同的資料來源蒐集資料，如反思日誌、課堂錄影、晤談紀錄，確保資料一致性。人員分析的三角校正則透過不同的人員蒐集資料，如觀課教師、學生、研究者，確保資料的一致性，本研究評分者一致性考驗為 .91。實施教學模組時，研究諮詢者中一名資深教師T會到場觀課，並做教學紀錄。研究者於課後記錄教學日誌並與T進行議課，T經反覆觀看課室錄影後，給予研究者教學建議與回饋，以確保研究者對教學研究和觀察內容的想法能如實反映，即「研究者的教師日誌」、「課室錄影錄音」及「研究諮詢者教師議課紀錄」三者之間相互驗證。本研究的三角校正範例，如表2所示。

在轉錄成原案和編碼資料後，本研究先從力矩與轉動成就測驗後測之高、中、低成就學生各隨機抽取2名。接著分析這些學生於教學活動中所撰寫的學習單，並對學生進行半結構式晤談。同時統整與T教師、P教授共備觀議課影音和書面資料、課室錄影和錄音，以及教師日誌等各方資料也進行了轉錄和編碼。

肆、研究結果

一、發展教學模組所遭遇之困難與解決策略

發展PBE多重表徵教學模組的過程中，研究者主要面臨教學理念整合、教材設計與迷思概念預判等困難，經研究團隊討論與修正後逐步改善，說明如下。

研究者初期對於如何將PBE與多重表徵教學策略，有系統地結合於力矩與轉動單元教學中，尚未形成明確架構。若僅以在地文化作為情境導入，而未搭配多元表徵呈現，容易流於講述式教學，學生難以真正理解科學概念。

表2
三角校正範例

研究者教學反思日誌	研究諮詢者教師觀課與反覆觀看課室錄影後議課回饋
在扇形車庫的秘密活動時，先以扇形車庫歷史引起學生學習的動機，再施一力矩於扇形車庫的模型轉車臺，使轉車臺轉動。學生觀察後能清楚說出轉軸、力臂長度與施力點等科學概念，是否表示學生透過此活動有習得應學到的科學知識呢？	學生在扇形車庫的秘密活動中，熱烈分享彼此對於扇形車庫的經驗，並能清楚講出轉軸、力臂長度與施力點等科學概念。對於學習單提出之問題：「在無電室力的情況下，要如何使扇形車庫順利轉動」，學生也能透過小組討論，依據科學原理正確回答問題，表示確實有提升學生的學習成效。

P教授：要在教學中呈現在地文化，需要透過許多表徵，若只是單純的用地文化授課，不僅會變成講述的課程，學生更無法清楚的理解其中的科學知識，可以考慮將PBE結合多重表徵來設計教學模組。（會220301）

解決策略：研究者透過文獻探討與共同備課，建構「PBE多重表徵教學設計架構」，將在地文化情境與圖像表徵、模型表徵、動態影片與文字敘述等多重表徵整合設計。例如操作扇形車庫模型施力使轉車臺轉動、結合影片與圖片說明力矩概念，使學生在具體經驗中理解抽象概念。

研究者第一循環發展的教案中，首先舉生活經驗的例子讓學生體驗轉動，再討論力矩的定義，並運用扇形車庫設計應用層次的題目，讓學生思考，最後統整該單元所學習之力矩與轉動科學知識。與P教授及教學團隊討論後，認為原設計之教學較無法引起學生學習動機，只是從生活經驗與定義開始進行教學，容易使學生失去學習興趣，無法精熟並應用所學科學知識。

P教授：這樣設計的教學，現在的學生一上課就看到定義，就會比較沒有興趣。將扇形車庫作為引起動機，讓學生一開始上課就可以看到自己家鄉的古蹟特色，學生會更有興趣學習。（會220719）

解決策略：第二循環修正為將扇形車庫簡介調整至整堂課一開頭，引起學生學習興趣。透過扇形車庫的多重表徵，如圖像表徵、動態表徵、模型表徵與文字表徵等，讓學生全面地瞭解家鄉的古蹟特色，進而提起學習興趣，而後介紹力矩的定義，最後把扇形車庫轉車臺轉動的原理結合力矩的定義，並提出精緻化的問題讓學生思考。整堂教學都緊扣扇形車庫，讓學生升起在地情懷，進而提升學生學習動機。

T教師：學生上課一看到扇形車庫的模型就用期待的眼神看著我，感覺很期待今天上課的內容，上課時也討論得很熱烈，看起來扇形車庫確實有提升他們的興趣。（心221115）

綜上所述，本研究於發展PBE多重表徵教學模組過程中，主要困難集中於教學理念整合、教材設計順序調整以及學生迷思概念之預判。透過文獻探討、實地踏查與研究團隊共同備課與議課，逐步建構出兼具地方本位特色與多重表徵架構之教學設計，使課程由原先較為概念導向的鋪陳，轉為以在地文化情境引發動機，再連結科學概念的教學模式。此階段之修正歷程，不僅強化教學模組之理論基礎與結構完整性，也為後續實際課室實施奠定較為周延之準備。

二、實施教學模組所遭遇之困難與解決策略

約有三分之一的學生尚未去過扇型車庫，未去過的學生較無法理解扇型車庫的結構與當地環境。

解決策略：讓學生可以透過模型、圖像、動畫、操作與文字等多重表徵呈現於課堂中來認識扇形車庫。此外，在過程中進行扇形車庫小組分享，讓學生分享去扇形車庫的經驗，與自己的所見所聞，讓課堂可以不僅透過教師提供的表徵學習，更可以從學生口中瞭解扇形車庫的結構與環境。

P教授：學生無法清楚理解扇形車庫的結構的話，你就多帶個模型去，用模型操作給學生看，還可以播影片。或是請學生分享去扇形車庫的經驗，讓他們討論。（會221118）

T1：你有去過扇形車庫嗎？

S0524：沒有，但有聽過。

T1：那你上完課之後有知道扇形車庫的作用跟原理嗎？

S0524：我知道，○○有跟我說之前去的時候看了啥，火車休息跟保養的地方。火車在那盤子上可以轉動，透過電力室施力矩讓盤子轉動把火車轉到該去的編號保養。

T1：那你除了聽○○說之外，還透過甚麼方式瞭解扇形車庫？

S0524：老師上課有拿車庫的模型，跟看下面那個盤子轉動的影片啊，學習單上面也有介紹扇形車庫的故事，我有機會就會想去現場看看。（02晤230111S24）

學生在判斷物體的轉動狀態時，習慣以過去所學習力的觀點，錯誤判斷物體的轉動現象，容易忽略力矩與力臂的概念。

解決策略：詢問學生在日常生活中開門時，手的施力方向為何，若手施力方向朝門的轉軸方向施力，門是否會旋轉，讓學生瞭解若施一通過轉軸的力，無法使物體旋轉；並在合力矩活動透過小組討論4-2第3題，請同學操作探究○○工業區的風車微模型，在與支點不同距離的風車扇葉綁上繩子，並連結彈簧秤施以相同大小的力，請學生觀察葉扇的轉動方向。

T1：施力在支點上物體會轉動嗎？

S0522：不會。

T1：那剛剛大家進行這個（將兩個彈簧秤分別綁在風車的兩個葉扇上，且兩者綁的位置到支點距離不同）活動時，風車會怎麼轉動呢？

S0508：風車轉動方向會跟離支點比較遠的那個力矩方向一樣。

T1：所以兩者的力矩方向相反，同時施力矩的時候，風車轉動的方向會跟離支點比較遠的那個產生的力矩方向一樣對嗎？那這段支點到彈簧秤綁住的這段距離稱為啥？

S0522：力臂。

T1：那只施力物體會轉動嗎？有誰可以舉個例子，施力的時候物體沒有轉動？

S0512：只施力不一定會轉動，施力通過支點就不會轉動。（02錄22122807）

因學生長期上課模式皆為直排式座位，也較少有小組合作經驗，而發展PBE多重表徵教學模組中設計了許多需要學生大量討論的活動，教學也採取小組合作學習法，透過小組成員彼此互動、討論與合作提升學習成效。若學生對於小組合作不熟悉，教學中許多活動不易進行。

解決策略：請T在實施研究前兩個禮拜，課堂進行皆採小組合作學習法，讓學生開始習慣小組合作學習法，而研究者在T課堂進行中引導各小組討論，讓學生可以針對教師提出的問題進行較深入的討論。並與T討論各小組成員的組合，除了異質性分組，讓高分組可以帶低分組一起討論科學概念之外，也透過兩個禮拜的觀察，將較外向活潑的學生分配至各組，讓其帶領小組討論，進而提升學習成效。

T：我上課通常是像一般上課的方式一樣，座位都是直排式的，若要採用小組合作學習法要提早讓學生適應。若他們不熟悉小組合作學習方式的話，討論時候很難分工合作。

P教授：看能否請T教師近期上課先讓學生接觸小組合作學習方式，這樣第一循環執行的時候，學生討論時才會有成效。（會221025）

生活中每位學生操作簡單機械方式皆不相同，因此在判斷槓桿類型或是省力費時、省時費力或不省時不省力，會因不同的操作方式而異。

例如：正確使用筷子夾取物品時，筷子不應交叉，使用時為施力點在中間的槓桿；而某些學生使用筷子的方式為將筷子交叉夾取物品，此時即為支點在中間的槓桿。

解決策略：請各小組上臺應用實物表徵，操作並解釋其日常生活使用簡單機械的方式和槓桿類型，再請其他組別補充說明同一簡單機械的其他使用方式與槓桿類型，教師最後再統整不同簡單機械使用方式下的槓桿類型。

T1：有人使用開瓶器的方式跟○○不一樣嗎，可以示範嗎？

S1308：我！把前面靠在蓋子下面，中間這邊固定，然後往下辦啊。

T1：那大家覺得哪一種比較好呢？

S1306：支點在開瓶器前端，抗力點在中間，因為這樣會有最大的施力臂，施的就會比較小！

T1：可以請○○出來再示範，然後講解嗎？

S1306：好，就是像這樣，前端固定（把開瓶器前端固定在瓶蓋上方），中間這個地方放在瓶子下方，然後往上拉。

T1：沒錯，大家幫○○掌聲，第三組加一分。（01錄221118S06）

本教學模組實施過程中，以生活經驗或在地特色（如：扇形車庫）來提升學生學習動機，並將生活環境與科學知識（如：力矩）結合，並於學生正確回答問題後，正向鼓勵學生，增進學生學習興趣與自信，同時請高成就學生帶領低成就學生完成學習任務。其次，每個學生對於簡單機械的使用方式不盡相同，在應用上判斷槓桿類型也會因人而異；因此，在簡單機械的使用方式上，如開瓶器、筷子等，請各小組彼此討論後與全班同學分享，教師再請學生實際操作、畫出力圖，並以文字記錄在學習單中。最後教師統整所有可能的使用方式並說明，藉以幫助學生瞭解自己使用簡單機械的槓桿類型。

三、PBE多重表徵教學模組對國中生的學習成效影響為何

（一）學生學習成效之量化資料分析

1. 二循環力矩與轉動成就測驗成對樣本 t 檢定

力矩與轉動成就測驗前、後測滿分均為100分，分別將第一與第二循環力矩與轉動測驗前、後測分數進行成對樣本 t 檢定，如表3。第一循環前測平均36.44，標準差為11.65，後測平均53.03，標準差為23.00，進行前、後測成對樣本 t 檢定分析結果， $t(26) = 4.00$ ， $p = .000$ ，顯示教學後學生的學習成效顯著優於教學前。第二循環前測平均39.33，標準差為15.18，後測平均62.33，標準差為23.74，進行前、後測成對樣本 t 檢定分析結果， $t(23) = 5.71$ ， $p = .000$ ，顯示教學後學生的學習成效顯著優於教學前。

2. 兩循環成就測驗前測獨立樣本 t 檢定

本研究以成就測驗前測進行獨立樣本 t 檢定，瞭解兩循環學生在力矩與轉動單元教學前學習成效差異情形。結果顯示，兩組學生在力矩與轉動單元教學前學習成效沒有顯著差異（ $t = 0.767$ ， $p > .05$ ），如表4所示。

表3
第一、二循環力矩與轉動成就測驗前、後測成對樣本t檢定

變項	前測 平均數	後測 平均數	成對變異數差距 (後測 - 前測)				t值	自由度	顯著性 (雙尾)
			平均數	標準差	平均數 標準誤	差異的 95%信賴區間			
第一循環	36.44	53.03	16.59	21.53	4.14	[8.07, 25.11]	4.00***	25	.000
第二循環	39.33	62.33	23.00	19.75	4.03	[14.66, 31.34]	5.71***	22	.000

註：*** $p < .001$ 。

表4
兩循環成就測驗前測獨立樣本t檢定

變項	第一循環 (n = 26)		第二循環 (n = 23)		t值	顯著性 (雙尾)
	平均數	標準差	平均數	標準差		
成就測驗前測總分	36.44	11.65	39.33	15.18	0.767	.447

註：成就測驗共25題單選題，答對1題計4分，滿分100分。

(二) 學生學習成效之質性分析

本節針對學生學習成效進行質性分析，並以知識、態度、能力三個面向描述，分述如下。

1. 學生知識面向之學習成效

(1) 學生瞭解力能使物體移動，力矩能使物體轉動

T1：還記得二年級學力的單元的時候，有說過力能造成物體的甚麼狀態改變嗎？

S1308：形變跟運動狀態改變嗎？

T1：沒錯！那力跟力矩差在哪裡？

S1308：力是讓物體移動，力矩能讓物體轉動，有力不一定能讓物體轉動對嗎？

T1：對，那我們有提過生活中那些東西同時在移動跟轉動呢？

S1308：騎腳踏車的輪胎，有移動也轉動。(01晤221122S08)

T1：請問大家力可以造成物體的甚麼改變嗎？跟力矩又有甚麼不同呢？這題給第三組。

S0516：力可以造成物體的形狀改變，或是運動狀態改變……讓物體移動，力矩可以改變物體的轉動狀態。

T1：沒錯！來，第三組加一分。(02錄22122807)

(2) 學生能理解力矩 (L) 等於力臂 (d) 乘上力 (F) 的關係

教師從單元二「物體如何從靜止到轉動」問題2-2與單元三「力矩」的認識力矩活動，以

開、關門施力點和支點的距離與施力大小，帶領學生探討門轉動的快、慢，讓學生瞭解影響轉動的因素是力臂與力。教師講解力矩為使物體轉動的難易程度，力矩被定義為力臂與力的乘積，學生能理解 $L = d \times F$ ，並計算力矩大小。

(3) 學生能理解力臂為轉軸或支點到力作用線的垂直距離

教師教導學生正確找到力臂的步驟：1. 先確立支點，2. 畫出施力方向的延長虛線，3. 用「尺」畫出一條通過支點且垂直於力延長虛線的實線。並將力臂概念連結開、關門，使學生透過單元三「力矩」尋找力臂活動小組討論與練習（如學習單圖4-3），將力臂概念結合真實生活環境，使學生能正確判斷力臂。

(4) 學生能理解槓桿的三種類型分別為支點在中間、施力點在中間、抗力點在中間，並理解每一類型的使用目的為何

經教師應用生活常見的簡單機械（如：花剪、筷子等），教導學生簡單機械可能的槓桿類型與使用目的，學生經生活使用經驗與實際於課堂操作簡單機械後，可統整出每種槓桿類型與使用目的。

T1：複習一下今天上課的重點，今天學到哪三種槓桿類型呢？請第五組回答。

S1302：施力點在中間、抗力點在中間、支點在中間。

T1：那他們的使用目的分別有哪些呢？

S1316：施力點在中間的槓桿，省時費力；抗力點在中間的槓桿，省力費時；支點在中間的槓桿，可能省時費力、費力省時或是不省力不省時，可以改變施力方向。（01錄 22111806）

(5) 學生能透過PBE多重表徵教學將力矩與轉動科學概念連結生活情境，提升力矩與轉動學科專業知識

經教師於力矩單元引導學生正確找到力臂的步驟，與使用生活中開、關門的概念講解力矩，學生習得力矩、力臂概念後，到訪扇形車庫時，能正確判斷火車轉動過程中的轉軸、施力點、施力臂。學生學習完簡單機械，發現自己拿筷子的方式與別人不相同，並運用教師於課堂講解的槓桿類型與使用目的連結自身生活經驗，分析自己使用筷子的方式，並進一步改善使用筷子的姿勢。

T1：你覺得我上的課與以往上課有何不同呢？

S1306：老師用了很多○○縣的古蹟或環境跟照片或影片吧，也會帶真的工具到班上。

T1：那你覺得這樣上課的方式對於你學習有什麼樣的變化？

S1306：這樣上課比較好玩、清楚，可以看到真實的東西，還有不同的照片，從很多角度學

習。

T1：那這樣你有覺得學得比較好嗎？

S1306：我覺得有，透過扇形車庫來學習力矩這些概念，除了比較有興趣之外，因為從小就會去那邊散步，更能深刻理解到力矩、力臂的關係，這樣學好玩又清楚。（01晤221123S06）

2. 學生態度面向之學習成效

(1) 提升學生對自身成長縣市的文化追求，並開始認為自身成長縣市對自己是特別的場域

經教師教導單元一「轉動」將○○工業區風車轉動，與單元三「力矩」將扇形車庫力臂、力矩概念融入教學，講解力矩與轉動概念時，學生發現自己常去的扇形車庫蘊含許多科學知識在裡面，並意識到自己對於成長的城市環境並不熟悉，經過教學後，會想去認識自身成長縣市的文化或是古蹟特色。

T1：上完課你有沒有覺得自己對於自身成長縣市有不一樣的感受？

S1309：沒想過這個地方有這麼多知識可以學習，平常不會特別去注意，但是上完課讓我感覺自身成長縣市其實很特別。

T1：對啊！○○縣市其實蘊含很多科學知識，你覺得上課哪個地方讓你對自身成長縣市開始感受特別？

S1309：應該就是○○的風車、扇形車庫跟力矩那邊，尤其是扇形車庫講力矩的時候。

T1：有甚麼特別的感覺？

S1309：我覺得就是雖然我在這裡生活很久但是沒有真的對自身成長縣市很瞭解，但是其實這裡是我長大的地方，之後會想更去認識自身成長縣市的文化，或是看有沒有甚麼古蹟特色吧！（01晤221124S09）

(2) 超過三分之二的學生到訪過扇形車庫且上課討論時熱烈分享經驗，透過PBE成功提升學生學習動機

T1：剛剛說會去注意自身成長縣市的文化，這些文化帶入教學與之前有甚麼不同？

S0502：就很有趣啊，剛剛不是有說自身成長縣市很多科學知識，如果上課都可以用這種我會去的地方教，那我就會覺得很好玩，去了就可以結合老師上課的知識跟那個地方的一些特色。這樣就會覺得沒有白學，不然有時候會覺得自己幹嘛學這個。

T1：這樣聽起來，你覺得教學用這些自身成長縣市的文化你很喜歡囉。

S0502：對啊！我覺得很有趣，而且同學也會分享去那邊有甚麼，每個人都不太一樣，很有趣。（02晤230112S02）

3. 學生能力面向之學習成效

(1) 學生能於生活中應用槓桿原理，以最省力的方式正確使用實物表徵（開罐器）

學生使用開瓶器的方式大致上分為兩種：一種是以開瓶器前端為支點，中間的洞靠在瓶蓋上為抗力點，手握部分為施力點，手由下往上施力矩打開瓶蓋；另一種則是將開瓶器洞口前端作為抗力點靠在瓶蓋上，洞口後端作為支點，手握部分為施力點，手由上往下施力。在打開同一瓶蓋的前提下，前者因施力臂較後者長因此更省力，能更輕鬆地打開瓶蓋。

T1：有人使用開瓶器的方式跟○○不一樣嗎？

S1306：○○說他有其他用法。

T1：○○可以來中間示範給大家看嗎？

S1308：啊就像這樣，把前面靠在蓋子下面，中間這邊固定，然後往下掰啊。

T1：那大家覺得哪一種比較好呢？

S1306：應該是支點在開瓶器前端，抗力點在中間，因為這樣會有最大的施力臂，施的就會比較小！

T1：可以請○○出來再示範，然後講解嗎？

S1306：好，就是像這樣，前端固定（把開瓶器前端固定在瓶蓋上方），中間這個地方放在瓶子下方，然後往上拉。（01錄221118S06）

(2) 學生能應用語言、文字、符號、圖像與實物等多重表徵與同儕互動以利學習進行

學生會模仿教師上課時所使用的表徵（如：力圖、簡易翹翹板或力矩公式 $L = d \times F$ 等）與同儕討論，在與同儕講解轉動平衡概念時，學生會用橡皮擦、筆跟尺製作簡易翹翹板，並同時在紙上畫圖、做數學計算，透過力矩公式講解，順時針力矩 = 逆時針力矩時，達轉動平衡的概念。

T1：你平常上課都會怎麼教你的組員呢？

S0512：我會把老師講的內容再跟他說一次啊，有時候用畫圖的○○會比較好懂，而且我覺得像老師上課這樣用很多方式跟東西教，就會比較清楚。

T1：那你能不能舉個例子？

S0512：像是學習單下面進階練習，我就先跟他說力平衡再跟他說力矩會平衡，然後就直接拿尺跟筆還有橡皮擦，用一個簡單的翹翹板跟他說力矩平衡，之後就跟他說力矩的公式 $L = d \times F$ ，講完他就大概懂了！（02晤230112S12）

本研究第一、第二循環力矩與轉動成就測驗，經成對樣本 t 檢定考核後，後測成績皆顯著優於前測。將量化資料結合質性資料，發現學生在經教學後，知識面：教師用實物、模型、文

字、圖像等多重表徵提供生活中常見的簡單機械，讓學生經小組討論後，能分析簡單機械之槓桿類型、力圖、與使用目的，提升學生力矩與轉動的科學知識。能力面：教師透過簡易翹翹板，講解槓桿原理與其中施力、施力臂、抗力與抗力臂的概念，學生能理解概念並將槓桿原理應用於日常生活之簡單機械中，如：開罐器、掃把等，也透過教學中的小組任務與討論，提升學生團隊合作互動的能力。態度面：教師將科學知識連結在地文化與生活經驗，並在過程中擔任教學引導者，並提供與科學知識相關之在地特色，協助學生深入瞭解地方文化，增進學生學習興趣，並於教學後也提升學生對自身成長縣市的在地情感。研究結果顯示，PBE多重表徵教學模組確實能促進九年級國中生對於力矩與轉動單元的學習成效。

伍、結論與建議

一、結論

本研究探討PBE多重表徵教學模組對國中生力矩與轉動單元學習成效之影響。力矩與轉動為國中自然科學領域中重要的核心概念之一，且屬於較抽象、困難的單元；本教學模組結合學生日常生活及扇形車庫等在地文化，並透過多重表徵的方式進行教學，研究結果發現，可以提升學生對於力矩與轉動概念的理解達到增進學習成效之目的。以下就研究結論歸納如下。

(一) 發展教學模組過程，教師所遭遇之困難與解決策略

發展教學模組過程中發現單純使用PBE進行教學時，學生難將生活地區的地方文化或生活經驗和力矩與轉動科學知識連結。因此本研究將PBE與多重表徵結合，教師教學時以在地文化或生活經驗的多重表徵呈現科學概念，如：提供學生在地環境中的古蹟扇型車庫模型，操作模型，施力矩使轉車臺轉動連結力矩、力臂的概念，讓學生不僅以自身成長的地區來學習，更能透過多重表徵具體地理解力矩與轉動科學知識。而為了要將學生熟悉的在地文化或生活經驗與多重表徵結合得更緊密，發展PBE力矩與轉動問卷，讓已學過力矩與轉動的學生填答，以此為依據設計PBE多重表徵教學模組。

學生方面主要聚焦在如何讓學生適應小組合作學習法，讓實施教學模組過程能順利進行。經與研究諮詢者T教師討論後，請T教師於實施教學模組前兩週，事先將小組合作學習法融入課堂中，研究者則擔任助教的角色，在學生小組討論過程中協助引導學生溝通、互動與學習，讓學生習慣小組合作學習法，以利教學模組實施。

（二）實施教學模組，學生學習過程所遭遇之困難與解決策略

實施教學模組過程中，遭遇的主要問題為學生在小組討論時，低成就學生較不願意參與討論與互動，且傾向等待高成就學生的答案。因此，教師先引導學生自己思考答案，再進行小組討論；過程中，用生活經驗或在地特色（如：扇形車庫），增進學生學習動機，並結合科學概念（如：力矩），使低成就學生進行生活與科學知識的連結，並於正確回答後正向鼓勵學生，提升學生的自信與興趣，同時請高成就學生帶領低成就學生完成學習任務。此結果和羅廷瑛與張景媛（2014）研究結果觀點相同，引導學生學習過程若能夠連結其文化知識，結合其先備知識或生活經驗相關程度較高之活動，將得以提升學習歷程的正面情意感受程度，並提升學生學習成效。

在實施過程中發現，每個學生對於簡單機械的使用方式不盡相同，有時甚至可能使用的方式是錯誤的，應用上判斷槓桿類型也會因人而異。因此，在簡單機械的使用方式，如開瓶器、筷子與掃把等，教師先針對一物品請學生討論可能會有的簡單機械槓桿類型，各小組彼此討論後與全班同學分享，教師再請學生實際操作、畫出力圖，並以文字記錄在學習單中。最後教師統整所有可能的使用方式，並說明其對應的槓桿類型，藉以幫助學生瞭解自己使用簡單機械的槓桿類型。

（三）PBE多重表徵力矩與轉動教學模組對國中生的學習成效影響

PBE多重表徵力矩與轉動單元教學模組，對九年級國中生學習成效的影響，量化資料部分，以力矩與轉動成就測驗前、後測試題成對樣本 t 檢定進行分析，發現兩循環後測成績均顯著優於前測成績。經質性資料分析後，主要有以下發現。

1. 學生知識面向之學習成效

學生經單元二「物體如何從靜止到轉動」與單元三「力矩」教學後，透過生活中開、關門的實際操作與扇形車庫轉動過程，已能理解力矩與力臂的定義、物體轉動所需之條件，與力矩和力、力臂的關係。在經歷合力矩教學後，討論以不同力臂在旋轉門正反面施力矩，搭配中文敘述與圖像表徵的引導，學生能理解合力矩為零，順時針力矩等於逆時針力矩，原靜止的物體會繼續保持靜止，此即轉動平衡。

經教師提供生活中常見簡單機械（如：花剪、開瓶器與筷子等）的圖象、實物、文字等敘述後，請學生討論其槓桿類型、施和抗力臂大小與施和抗力大小、使用目的，學生已能將槓桿原理學習至分析層面，分析生活中常見的工具，其槓桿類型與使用目的，並能於題目用槓桿原理計算物體轉動所需力矩，在生活中結合槓桿的概念正確使用開瓶器。經過PBE多重表徵教

學，學生能理解力矩與轉動的科學概念，提升力矩與轉動學科專業知識。

以PBE多重表徵教學模組進行教學，能讓學生以地方環境作為學習起點，並以多元的表徵呈現科學抽象的概念，降低學生的認知負荷，和Hohenthal與Veintie（2022）研究觀點相符，透過PBE課程結合不同形式的表徵，可以幫助學生理解科學知識，並與生活進行連結。

2. 學生態度面向之學習成效

在教師小組合作的引導下，學生能主動關心同儕在學習過程遇到的困難，且耐心給予指導，彼此互助。學生經扇形車庫的活動教學後，透過同儕分享去扇形車庫的印象、成長環境的經驗與在地文化，成功提升學生學習動機，同時增進對在地的文化追求，認為應主動認識成長的家鄉，更對於自身成長環境蘊含的科學概念感到興趣。

以PBE多重表徵教學模組進行教學，能使學生以自身成長環境習得科學知識，透過課堂溝通、互相交流，提升學生學習動機，同時增加學生對地方的文化追求。研究結果與Takano等人（2009）的觀點相符，透過PBE課程能夠提升學生學習興趣，並且增加學生對地方的情感。

3. 學生能力面向之學習成效

在課堂中以模型表徵讓學生進行探究操作，使學生能應用槓桿原理於日常生活中，正確以最省力的方式使用開瓶器等簡單機械；並能在實作評量中應用槓桿原理，透過正確操作讓簡易翹翹板保持平衡。學生也學習教師在課堂中所使用多重表徵的教學模式，能應用多重表徵進行同儕教學，在教導同儕開瓶器的使用時，能透過實物進行操作，同時呈現力圖講解槓桿類型，並透過文字輔助說明，增進表達、溝通及互動之能力。

以PBE多重表徵教學模組進行教學，以學生生活經驗作為教學出發點，並透過實際探究操作實物、畫示意圖、文字說明與觀賞動畫等方式，提升學生動手做、溝通互動的能力。研究結果與Ünsal等人（2020）研究觀點相符，透過實物表徵並操作，搭配科學知識，不僅可以讓知識更具體地被理解，更能增加學生手做的能力。

二、建議

依據本研究之研究結果與行動研究歷程，提出以下具體建議，供未來教學實務與後續研究參考。

（一）發展教學模組過程，教師所遭遇之困難與解決策略

本研究結果顯示，將PBE結合多重表徵教學，能有效提升學生對力矩與轉動等抽象科學概念的理解與學習成效。透過在地文化素材（如扇形車庫）引起學習動機，並搭配圖像、實物模

型、動態影片、力圖與數學表徵等多元呈現方式，有助於學生在不同表徵之間建立概念連結，降低認知負荷，進而深化概念理解。因此，建議國中自然科學教師在教授抽象物理概念時，可優先選擇學生熟悉的生活經驗或在地文化情境，並有系統地設計多重表徵教學活動，以提升學生的學習動機與概念建構成效。

（二）建議於實施多重表徵與合作學習前，先培養學生合作討論之學習經驗

研究結果顯示，部分學生因不熟悉小組合作學習方式，初期較不願意參與討論，影響學習成效。因此，建議教師在正式實施多重表徵與探究導向課程前，可先於平時課堂中逐步導入合作學習策略，培養學生討論、表達與傾聽的能力，並透過異質性分組與明確分工，提升學生在小組學習中的參與度與學習效益。

（三）對未來研究之建議

本研究以中部地區某國中九年級學生為研究對象，研究結果具有情境性與限制性。建議未來研究可擴展至不同地區、不同年級或其他自然科學單元，以檢驗PBE多重表徵教學模組之適用性與成效。此外，未來亦可結合科技工具（如數位模擬、人工智慧等）作為多重表徵的一環，進一步探討其對學生科學概念理解與學習動機之影響。

參考文獻

- 左台益、蔡志仁（2001）。高中生建構橢圓多重表徵之認知特性。科學教育學刊，9（3），281-297。https://doi.org/10.6173/CJSE.2001.0903.04
- [Tso, T. Y., & Tsay, J. R. (2001). Cognitive characteristics of senior high students in constructing multiple representations of ellipses. *Chinese Journal of Science Education*, 9(3), 281-297. https://doi.org/10.6173/CJSE.2001.0903.04]
- 吳清山（2018）。教育名詞——地方本位教育。教育脈動，14，1。
- [Wu, C. S. (2018). Educational terminology—Place-based education. *Pulse of Education*, 14, 1.]
- 李曉雯、徐順益、林建隆、張英琦（2008）。應用Chi的本體論探討九年級學生轉動與力矩之迷思概念。物理教育學刊，9（2），11-26。https://doi.org/10.6212/CPE.2008.0902.02
- [Li, H. W., Hsu, S. Y., Lin, C. L., & Chang, Y. C. (2008). A study of misconception of ninth-grade students in “the torque and rotational motion” applies ontology of Chi. *Chinese Physics Education*, 9(2), 11-26. https://doi.org/10.6212/CPE.2008.0902.02]
- 柯志恩、黃一庭（2010）。圖像優於文字？N世代學生認知發展之探究。教育研究月刊，193，15-23。
- [Ko, C. E., & Huang, Y. T. (2010). Images over text? An inquiry into the cognitive development of Generation-N students. *Educational Research Monthly*, 193, 15-23.]
- 洪萱芳、顏瓊芬、張妤萍、洪韶君（2016）。以偏鄉國小為場域之地方本位環境教育課程省思。科學教育學刊，24（3），299-331。https://doi.org/10.6173/CJSE.2016.2403.04
- [Hung, H. F., Yen, C. F., Chang, Y. P., & Hung, S. C. (2016). An examination of a place-based environmental education curriculum in a rural school context. *Chinese Journal of Science Education*, 24(3), 299-331. https://doi.org/10.6173/CJSE.2016.2403.04]
- 翁上峯、林建隆（2025）。PBE為本的探究式教學對偏鄉國中學生學習動機與成效之效益——以溫度與熱為例。師資培育與教師專業發展期刊，18（2），61-98。https://doi.org/10.53106/207136492025081802003
- [Weng, S. F., & Lin, J. L. (2025). The effectiveness on PBE-based inquiry instruction for learning motivation and achievement of rural junior high students—By teaching the unit of temperature and heat. *Journal of Teacher Education and Professional Development*, 18(2), 61-98. https://doi.org/10.53106/207136492025081802003]
- 徐順益、張惠博（2001）。國中及高中學生在力學概念學習之研究——運動與力矩（報告編號：NSC 95-2511-S-018-011-MY2）。行政院國家科學委員會。
- [Hsu, S. Y., & Chang, H. P. (2001). *A study of junior and senior high school students' learning of*

- mechanics concepts: Motion and torque* (Report No. NSC 95-2511-S-018-011-MY2). National Science Council.]
- 徐順益、張惠博、林建隆（2004）。國中及高中學生在力學概念學習之研究——運動與力矩（IV）（報告編號：NSC 92-2522-S-018-004）。行政院國家科學委員會。
- [Hsu, S. Y., Chang, H. P., & Lin, J. L. (2004). *A study on junior- and senior-high students' learning of mechanics concepts—Motion and torque (IV)* (Report No. NSC 92-2522-S-018-004). National Science Council.]
- 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://cirn.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://cirn.moe.edu.tw/Upload/file/27888/82352.pdf]
- 張英琦（2019）。使用力矩與轉動的教學單元探討九年級學生表徵轉譯的機制（系統編號：107NCUE5198011）〔博士論文，國立彰化師範大學〕。臺灣博碩士論文知識加值系統。
- [Chang, Y. C. (2019). *The mechanism of representational translations among ninth grade students: By using torque and rotation as the instructional unit* (Publication No. 107NCUE5198011) [Doctoral dissertation, National Changhua University of Education]. National Digital Library of Theses and Dissertations in Taiwan.]
- 劉家樟、楊凱琳、許慧玉（2012）。小六學生不同代數表徵的解題表現、教師布題順序與代數教學信念之研究。當代教育研究季刊，20（2），93-133。https://doi.org/10.6151/CERQ.2012.2002.03
- [Liu, C. C., Yang, K. L., & Hsu, H. Y. (2012). The study of six graders' problem-solving performance, teachers' problem posing and teaching beliefs in different algebra problems. *Contemporary Educational Research Quarterly*, 20(2), 93-133. https://doi.org/10.6151/CERQ.2012.2002.03]
- 羅廷瑛、張景媛（2014）。科學讀寫親子共學——以原住民低語文成就的學童為例。慈濟大學教育研究學刊，10，169-200。https://doi.org/10.6754/TCUJ.201403_(10).0006
- [Lo, T. Y., & Chang, C. Y. (2014). A parent-child scientific reading and writing co-learning program for underachieving aboriginal students. *Tzu-Chi University Journal of Educational Research*, 10, 169-200. https://doi.org/10.6754/TCUJ.201403_(10).0006]
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3), 131-152. https://doi.org/10.1016/S0360-1315(99)00029-9
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing:*

A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives: Complete edition. Addison Wesley Longman.

- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-57). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_3
- Brody, M. (2005). Learning in nature. *Environmental Education Research*, 11(5), 603-621. <https://doi.org/10.1080/13504620500169809>
- Cairns, D. (2019). Investigating the relationship between instructional practices and science achievement in an inquiry-based learning environment. *International Journal of Science Education*, 41(15), 2113-2135. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1660927>
- Carr, W., & Kemmis, S. (1986). *Becoming critical: Education, knowledge, and action research*. Falmer Press.
- Chang, J. Y., Cheng, M. F., Lin, S. Y., & Lin, J. L. (2021). Exploring students' translation performance and use of intermediary representations among multiple representations: Example from torque and rotation. *Teaching and Teacher Education*, 97, Article 103209. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103209>
- Dekker, J. J. H. (2015). Images as representations: Visual sources on education and childhood in the past. *Paedagogica Historica*, 51(6), 702-715. <https://doi.org/10.1080/00309230.2015.1061565>
- Hohenthal, J., & Veintie, T. (2022). Fostering Indigenous young people's socio-environmental consciousness through place-based learning in Ecuadorian Amazonia. *Globalizations*, 21(2), 349-369. <https://doi.org/10.1080/14747731.2022.2038831>
- Koedinger, K. R., & Nathan, M. J. (2004). The real story behind story problems: Effects of representations on quantitative reasoning. *Journal of the Learning Sciences*, 13(2), 129-164. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1302_1
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review Physics Education Research*, 1, Article 010104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010104>
- Kuo, E., Hull, M. M., Gupta, A., & Elby, A. (2013). How students blend conceptual and formal mathematical reasoning in solving physics problems. *Science Education*, 97(1), 32-57. <https://doi.org/10.1002/sce.21043>
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11(1), 65-100. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6708.1987.tb00863.x>

- Levie, W. H. (1987). Research on pictures: A guide to the literature. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Eds.), *The psychology of illustration: Vol. 1. Basic research* (pp. 1-50). Springer.
- Pals, F. F. B., Tolboom, J. L. J., Suhre, C. J. M., & van Geert, P. L. C. (2018). Memorisation methods in science education: Tactics to improve the teaching and learning practice. *International Journal of Science Education*, 40(2), 227-241. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1407885>
- Peterman, K., Cranston, K. A., Pryor, M., & Kermish-Allen, R. (2015). Measuring primary students' graph interpretation skills via a performance assessment: A case study in instrument development. *International Journal of Science Education*, 37(17), 2787-2808. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1105399>
- Prain, V., Tytler, R., & Peterson, S. (2009). Multiple representation in learning about evaporation. *International Journal of Science Education*, 31(6), 787-808. <https://doi.org/10.1080/09500690701824249>
- Smith, G. A. (2002). Place-based education: Learning to be where we are. *Phi Delta Kappan*, 83(8), 584-594. <https://doi.org/10.1177/003172170208300806>
- Somerville, M. J. (2010). A place pedagogy for "global contemporaneity." *Educational Philosophy and Theory*, 42(3), 326-344. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2008.00423.x>
- Takano, T., Higgins, P., & McLaughlin, P. (2009). Connecting with place: Implications of integrating cultural values into the school curriculum in Alaska. *Environmental Education Research*, 15(3), 343-370. <https://doi.org/10.1080/13504620902863298>
- Tang, K. S., Won, M., & Treagust, D. (2019). Analytical framework for student-generated drawings. *International Journal of Science Education*, 41(16), 2296-2322. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1672906>
- Ünsal, Z., Jakobson, B., Wickman, P.-O., & Molander, B.-O. (2020). Jumping pepper and electrons in the shoe: Using physical artefacts in a multilingual science class. *International Journal of Science Education*, 42(14), 2387-2406. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1650399>
- van der Meij, J., & de Jong, T. (2004, April 12-16). *Learning with multiple representations*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA, United States.
- Waldrip, B., & Prain, V. (2012). Learning from and through representations in science. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 145-155). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_12
- Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. (2010). Using multi-modal representations to improve learning in

junior secondary science. *Research in Science Education*, 40(1), 65-80. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9157-6>

Wu, H. K., & Krajcik, J. S. (2006). Inscriptional practices in two inquiry-based classrooms: A case study of seventh graders' use of data tables and graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 63-95. <https://doi.org/10.1002/tea.20092>

Wu, H. K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 754-767. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9363-7>