

113學年度科學教育專案年度期末報告綱要

計畫編號：70

計畫名稱：MGES 每週的每四堂自然課-科學探究自學補充教材編製研究(第2年)

主持人：陳河開

執行單位：澎湖縣馬公國小

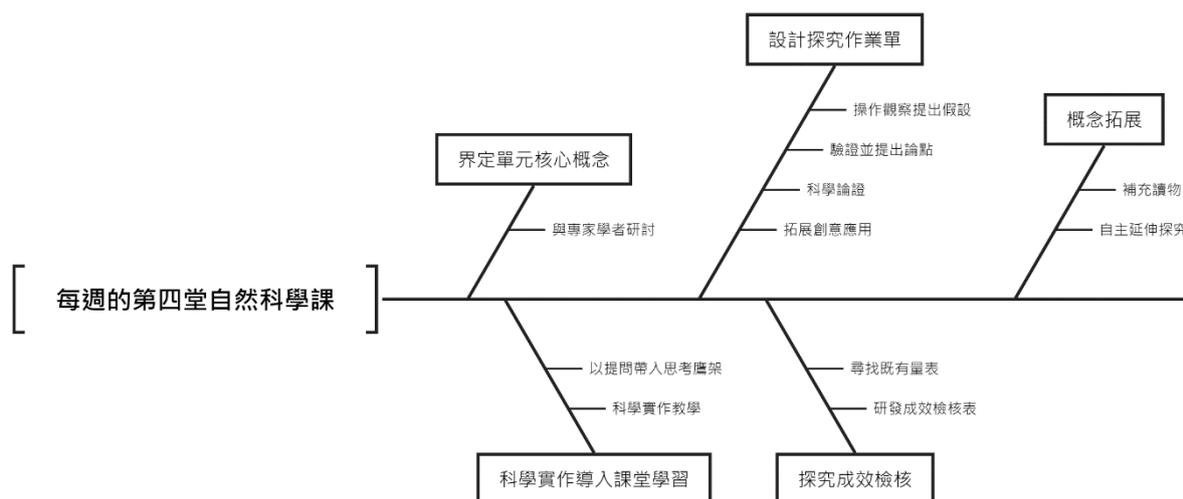
壹、計畫目的及內容：

本計畫旨在開發一套自然科學輔助自學教材，協助本校教師在進行自然科學教學時，能夠依循此手冊之鷹架，進行符合素養導向之教學，進一步養成本校學童之科學概念學習模式。本手冊依探究教學精神設計科學實作任務，實作任務回應到自然科學領域學習內容的核心問題，希望學生在教師的引導下，能夠整合課本知識進行自主探究活動，並加入科學論證筆記精神，讓學童藉由提出假設、設計實驗、進行論證及分享成果的學習活動當中習得自主探究技巧。

研究者試圖整合自學與實作，跨越每週有限之科學課程，研發適合本校學童的科學探究手冊，能夠呼應素養導向教學精神，讓學童在課餘時間能主動進行自然科學的學習，延伸為一隱形的第四節自然課。計畫目的如下：

- 一、研發一套兼具自學與課程補充之自然科學學習手冊，搭配自然課程實施，落實自然科素養導向教學。
- 二、研發以概念為本的探究實作教學策略，各單元以核心問題貫穿學習主軸，結合科學論證歷程，讓學童學習如何以證據為基礎的推理能力，啟發學童對科學探究的興趣。
- 三、建立一提升動機與成效兼顧的探究教學模式，藉由多模態的學習資源，並研發檢核工具，創造出每週的第四堂自然課，豐富本校學童的科學學習資源。

本手冊內容涵蓋「概念預習」、「任務引導說明」、「線上補充影片(含教師錄製與現成影片連結)」、「實作科學探究」、「科學補充文章(線上與紙本)」等內容。生活探究取材自澎湖地區的生活素材，邀請專家擔任計畫輔導教授，指導編製探究歷程引導單。探究模式架構如下



貳、研究方法及步驟：

一、文獻回顧

依據108課綱的精神，自然科學領域探究與實作，其課程目標在於提供學生「體驗科學探究歷程與問題解決」的學習環境和機會，並強調培養學生發現問題、認識問題、問題解決，以及提出結論與表達溝通之能力。而探究式教學的核心精神在於「學生主動學習」。以學生為主體，強調學生的主動參與，鼓勵提出問題、設計實驗、尋找解答，並在過程中建構屬於自己的知識體系。這種以學生為中心的教學模式，能有效激發學生的學習動機，並培養他們獨立思考的能力。(Harden, 2009; Marschall & French, 2018; 洪振方, 2000; 李如偉等人, 2012)。因此，108課綱精神與探究式教學強調學生主動參與，透過親身經歷科學探究過程的理念相符。

此外，探究式教學特別重視「知識的應用與遷移」。透過核心問題的引導，學生得以將所學知識應用於解決實際問題，並將之連結到不同的情境中，這種深度的學習方式，有助於學生建立穩固的概念理解，並培養他們靈活運用知識的能力 (Erickson et al, 2017; Marschall & French, 2018)，恰符合108課綱培養學生成為終身學習者的理念。

為了進行探究式教學，使用簡單器材進行科學觀察的科學實作導入課堂，在科學教育中扮演著不可或缺的角色。科學實作做為課堂內一個連結概念與操作的橋樑，讓學生不再只是被動地接受知識，而是透過親自動手操作，去驗證、探索和發現科學現象。這種「做中學」的過程，能大幅提升學生對科學概念的理解與掌握 (許良榮, 2020; 鄭榮輝、林陳涌, 2015)。自然科學的學習，透過設計精良的實作活動，學生得以在真實或模擬的情境中，經歷科學家探究問題的歷程。不僅激發學習興趣，更能讓抽象的科學概念變得具體且易於理解。實作經驗所帶來的感官刺激和深刻體驗，有助於學生在腦海中建立更牢固的知識網絡，

進而促進科學概念的內化與建構(洪振方，2000；許良榮，2020)。

雖然探究與實作活動在課堂中扮演重要角色，現行教科書及學習手冊多以文字或靜態圖示傳遞科學概念，常忽略與動手實作的銜接。本研究嘗試結合概念分析法（Conceptual Analysis）的精神，以「拆解科學概念」、「找出與實作對接的缺口」及「連結操作活動」為核心，串接起教材與實作設計。提升文本與實作的協同性，強化學習鷹架，確保自學補充手冊中的實作導入環節，能有效支持學生在自主探究中建構與遷移科學概念。

當傳統的紙筆測驗不再能夠全部涵蓋108自然領綱之核心素養時，為了檢視科學教育成效，科學論證能力已成為評量科學教育成效的重要指標。一個具備科學素養的學生，不僅應理解科學知識，更應能運用證據來支持或反駁論點，並進行邏輯清晰的推理。因此，科學論證能力的高低，可以直接反映出學生是否真正掌握科學探究的精髓(洪振方，2000; 李松濤等人，2010; 林志能、洪振方，2008)。

評量學生的科學論證能力，可以從他們是否能提出合理的論點、是否能引用適切的證據，以及是否能清楚闡述論點與證據間的關聯性等面向來觀察。透過分析學生在論證過程中的表現，教師可以深入了解學生的學習成效，並針對學生的弱點提供更有效的教學支持。藉由將科學論證融入教學與評量，我們更能確保科學教育的目標得以落實，並培養出真正具備科學思維與問題解決能力的未來公民(McTighe & Wiggins，1998)。

綜上所述，本研究連結探究教學、科學實作與科學論證等三層面，擬推廣整合探究式學習（如圖1），研究焦點以建立一自主探究學習模式，選定以單元核心概念為主所研製的科學實作，規劃探究式教學課程，搭配科學論證思考歷程，並研發檢核表觀察學生學習成效，以期促進學生之科學素養能力。



圖1 本研究定義之探究式學習內涵

二、研究方法

本研究以行動研究為主，由研究者召集校內自然老師進行課程內容的研討，並徵詢縣內外的專家討論。本計畫擴大針對五、六年級學生實施，手冊內容以自然課實作教學→課後影片補充與自學→探究作業單檢視與協作→科學論證分享與研討→成效檢核與反思。研究者為

檢試計畫執行成效，分析探究檢核表，並以因材網單元知識前後測卷以獲得學習成效訊息。另外，對於學期初及學期末各進行一次科學態度問卷，觀察科學態度改變情形。

三、本研究步驟依各單元可分為以下工作：

- (一) 單元概念分析：研究者分析教材中文本如何呈現科學概念，定位需要設計動手操作實作任務來補強的核心概念。社群討論並設定核心問題 (essential questions)，與跨領域主題，再設計對應的實作活動，使抽象理論在操作—反思—再應用的循環中化為學生可掌握的經驗。
- (二) 設計科學實作及生活科學主題探究：精鍊既有的科學實作教學，邀請學者以視訊或入校輔導，編製科學實作學習引導教案及教材。嘗試研發澎湖在地素材之跨領域學習專題。
- (三) 界定線上自學及實體課程內容：列出可以利用網路學習平台引導學生自學的補充素材，以及課程中可以引導操作的課程內容，組合成與課程連貫性的教材。最後再找尋適當的延伸自學教材，以問題引導學生深入探究。
- (四) 資料蒐集與分析：每一單元實施前，應用因材網知識結構測驗進行前測。課程結束後再實施單元後測，分析測驗結果。並針對學童於作業單的書寫內容進行質化分析，以探討學童在知識習得的歷程與科學論證的品質。另於學期初、學期末各實施科學態度量表，分析科學行為的改變。
- (五) 內容修正：單元實施完畢，視學童學習成果進行內容修正，並整理各單元學習素材，出版成冊。

參、目前研究結果：

一、手冊架構確定

根據研討結果，自然科自學探究手冊每單元自學分為以下階段：

- 「概念自學」：搭配因材網影片與自學單，由學生利用在家或早自習時間查閱課本與因材網影片/課程包方式完成自學單。
- 單元輔助學習實作：設計單元相關科學實作，實作材料以生活簡便取得為原則，且富操作的變化性為主。利用一節自然課進行製作與操作，再由學生返家針對實作變項進行操作與觀察，刺激單元知識整合運用。
- 蒐集單元補充影片：放置於因材網課程包，供學生自學補充使用。
- 每單元訂出一個核心問題與延伸跨領域探究主題活動。

二、設計實作導入教學實施策略

- **課堂一般教學**：界定自然課上課內容為實作與討論，盡量不播放電子書補充影片，改以線上提供，請學生自行觀看，並提問與討論。課本教材所出現的實作，以引導式探究為主，旨在符合實驗之學習目標並完成習作。
- **課堂補充實作**：利用一節課帶領學生完成實作，介紹實作作品在進階探究的延伸操作（由實作任務單輔助），交由學生自主探究。教師並錄製影片引導學生進行探究，藉由實作任務單的填寫以深化該單元的核心概念。
- **線上討論與補充**：以學習平台(目前暫訂為因材網)的討論區，帶領學生進行討論，並公開範例。
- **課堂培養科學論證能力**：利用小組共學方式，就實作任務單的科學論證提供討論的機會，例如論點(claim)與證據(evidence)的撰寫，以及理解(reasoning)用科學概念解釋現象的能力。
- **個別化提供學習回饋**：教師批改作業單，就探究檢核項目給予個別化的學習回饋，讓學童有機會反思自己的學習。
- **教師錄製跨領域探究主題說明**：鼓勵學生於假日進行探究，並藉由數位工具記錄探究歷程。教師於每週自然課，撥出 10 分鐘討論全體學生探究成果。

三、著手進行教學實踐

- 彙編六年級、五年級各單元之實作內容與學習單，規劃實作教學與實作任務單。
- 列出補充影片之引導問題，上載於線上學習平台，並請學生利用早自修時間完成自學。
- 蒐集各單元補充閱讀文本，進行文本分析。

肆、目前完成進度：

一、教材單元概念分析摘要

本研究完成國小高年級共十二個核心自然科學單元的「概念分析」，系統性地剖析了各單元的知識結構、概念階層與情境脈絡，以作為後續探究活動設計之依據。重點摘要如下：

表1 現行自然科學單元概念分析（康軒版）

教材單元名稱	核心概念	教材結構與關聯	情境與脈絡
地球的生態	生物與環境的交互作用	由小到大的層次結構	在地化與全球永續議題
能量與生活	能量的形式、轉換與永續利用	現象 → 原理 → 應用 → 議題	生活情境與在地能源議題
簡單機械	力、功與機械原理	基礎原理 → 變形 →	生活工具與大型工程

教材單元名稱	核心概念	教材結構與關聯	情境與脈絡
		組合應用	應用
電磁作用	電與磁的交互作用及其應用	歷史脈絡串聯與概念對稱性	現代科技應用與風險議題
熱的作用與傳播	熱量、溫度與熱傳播	現象 → 原理 → 雙向應用	生活經驗與綠建築議題
植物世界面面觀	植物的構造、功能與生存策略	構造與功能對應、從自然到科技	餐桌上的植物學與仿生科技
空氣的組成與反應	空氣組成與氧化反應	快、慢氧化對照與原理正反應用	生活經驗與防災安全教育
水溶液	水溶液的性質與變化	定義 → 性質探討 → 應用	生活問題解決與螺旋課程
天氣的變化	水的循環與天氣系統	微觀機制 → 宏觀系統 → 全球議題	在地天氣經驗與氣候變遷
大地的奧秘	地表的組成與地貌的變動	靜態組成 → 動態作用 → 人類應對	在地地景與防災教育
力與運動	力的性質、測量與效應	定性到定量、現象到原理	日常生活與運動情境
探索聲光世界	聲與光的性質與應用	主題式劃分、跨主題比較	感官經驗與生活科技應用

二、科學實作任務開發進度

基於上述單元分析，本計畫已開發十一項對應之科學實作活動，將抽象概念轉化為學生的探究實踐。各項實作任務的開發進度如下表所示：

單元名稱	核心問題或驅動問題	實作作品	實作任務單	探究能力檢核表
能量與生活	太陽的熱能是如何不經接觸就傳遞到地球？我們要如何「看見」並觀測這種能量？	太陽輻射觀測器	已完成	(未完成)
簡單機械	如何應用槓桿原理，設計並優化一台投射裝置，以達成最遠或最準	簡易投石器	已完成	(未完成)

	的投擲目標？			
電磁作用	電與磁的交互作用如何產生動力，其效果受哪些變因影響？	電磁跳跳蟲	已完成	已完成
熱的作用與傳播	太陽的熱能是如何不經接觸就傳遞到地球？我們要如何「看見」並觀測這種能量？	太陽輻射觀測器	已完成	(未完成)
空氣的組成與反應	燃燒的必要條件？如何證明呼出氣體 CO ₂ 較多？酸鹼反應如何應用於滅火？	蠟燭遊戲呼出氣體檢測裝置酸鹼滅火器	已完成	已完成
水溶液	如何從身邊植物找出有效的酸鹼指示劑？如何應用酸鹼中和原理？	自製酸鹼指示劑酸鹼滅火器	已完成	已完成
力與運動	摩擦力如何成為動力？如何控制物體的浮沉？	毛根摩擦動力蟲浮沉子	已完成	(未完成)
天氣的變化	如何將抽象的鋒面系統具體化，以解釋天氣變化？	鋒面演示模型	已完成	(未完成)
探索聲光世界	聲音的本質是什麼？如何將「振動」視覺化？	毛根蟲團團轉	已完成	(未完成)
植物世界面面觀	(除了種子，植物還有哪些有趣的繁殖方式?)	(待開發)	(未完成)	(未完成)
大地的奧秘	澎湖獨特的玄武岩地景，是如何形成，又如何形塑在地生活與文化？	澎湖地質中心自導式學習單	(未完成)	(未完成)
地球的生態	(如何建構一個能自我維持的迷你生態系?)	(待開發)	(未完成)	(未完成)

伍、預定完成進度：

為使本計畫之探究補充教材更完善，完整地達成研究目標，後續將依據目前進度，完成以下工作項目，預計於114年7月31日前全數完成。

工作項目	內容說明
一、探究實作單之深化與完成	針對目前「實作任務單」中尚缺乏 CERR 論證模式的學習單（如：太陽輻射觀測器、投石器、毛根蟲團團轉等），進行提問設計的增補與優化，以完整地引導學生的科學論證歷程。
二、探究能力檢核表之全面建置	參照「電磁跳跳蟲」、「酸鹼滅火器」、「自製酸鹼試紙」等已完成之範例，為其餘八項實作活動逐一建立對應的「探究能力檢核表」，以作為客觀、系統化的學習成效評估工具。
三、新單元實作活動之開發	針對目前尚缺乏對應實作的「地球的生態」、「植物世界面面觀」等二個單元，擬再於教師社群進行討論，研發至少二份科學實作活動及其學習單。
四、教學實踐與資料分析	持續於課堂中實施探究教學，並蒐集學生的學習單、實作作品、問卷回饋等量化與質性資料，進行系統性的整理與分析。
五、成果報告撰寫與成果彙編	根據整學年的教學實踐與資料分析結果，完成本研究之期末成果報告書，並將所有研發之教材、學習單、檢核表等彙編成冊。

陸、建議與討論：(含遭遇之困難與解決方法)

本計畫在兩年的行動研究歷程中，透過不斷的實踐與反思，累積了寶貴的經驗，同時也面臨了諸多挑戰。本節旨在歸納計畫執行期間遭遇之主要困難，並闡述本研究所採取之因應策略與未來建議。

一、教學時間的運用與自主學習的落實

本計畫的核心在於課堂外的延伸探究，然而學生的課餘時間安排各異，加上部分學生自主學習動機較弱，導致要齊一完成課後探究任務具有相當的挑戰性。同時，課堂中引導實作與討論，也對教師的教學進度造成壓力。

本研究將部分可由學生獨立完成的操作步驟錄製成教學影片，讓學生在家中先行完成。如此一來，課堂時間便能更有效地聚焦於關鍵概念的討論與同儕協作。未來，將持續優化線上自學素材的趣味性與互動性，並建立更明確的獎勵機制，以提升學生的自主學習動機。

二、學生個別差異與探究深度的落差

相同的探究任務，學生的學習能力、先備知識與投入程度皆存在個別差異。研究歷程中發現，部分學生可能僅完成基礎操作，而未能進行深入的延伸探究與反思，導致探究行為的「完整度」產生落差。

除了透過檢核表界定學生的學習表現外，未來朝向再發展「差異化任務單」將學習單

內容分為：(1)基礎探究題：提供明確的步驟引導，確保所有學生都能完成核心探究目標；(2)進階挑戰題：提供更開放的探究問題與挑戰，鼓勵學有餘力的學生進行更深入、更廣泛的探索。

三、探究歷程評量的挑戰與思考

相較於傳統紙筆測驗，探究歷程的質性評量（如批改實作任務單、檢視探究紀錄、給予個別化回饋）需要投入大量的時間與心力，這對於教學與行政工作繁重的現場教師而言，是推廣此教學模式的一大障礙。

為建立一套可持續的評量與回饋機制，本計畫提出以下三點策略：(1)發展同儕互評機制：設計清晰的檢核表，引導學生進行小組內或組間的互評。(2)善用數位協作平台：利用 Padlet 等平台，讓學生將探究成果數位化並公開分享，增加同儕間的互動與觀摩機會。(3)探索 AI 輔助工具：未來將持續關注並嘗試引入生成式 AI 等對話機器人，探索其在輔助批改、提供初步回饋上的可能性。

四、戶外探究活動的規劃與鷹架

目前在「地球的生態」、「植物世界面面觀」等與戶外環境高度相關的單元，尚缺乏對應的實作活動。這類活動常需安排戶外教學或由家長協助，執行難度較高。

針對此類主題，我們認為必須設計結構更為明確的探究說明做為學習鷹架。未來的實作單應包含：(1)明確的觀察地點建議：如社區公園、在地潮間帶。(2)具體的觀察任務清單：如「請找出二種不同型態的根並描繪下來」、「請記錄潮間帶生態系中3種不同的族群，並辨計族群之間的關係」。(3)家長協作指引：設計一份給家長的簡易說明，讓家長能清楚了解如何協助孩子完成假日探究。如此，才能確保戶外探究活動的品質與可行性。

柒、參考資料：

1. Erickson, H. L., Lanning, L. A., & French, R. (2018). 創意思考的教室：概念為本的課程與教學〔劉恆昌譯〕. 心理出版社. (原著發表年：2017)
2. Marschall, C., & French, R. (2021). 概念為本的探究實作：促進理解與遷移的策略寶典〔劉恆昌 & 李壹明譯〕. 心理出版社. (原著發表年：2018)
3. McTighe, J., & Wiggins, G. (2015). 重理解的課程設計：專業發展實用手冊〔賴麗珍譯〕. 心理出版社. (原著發表年：1998)
4. National Research Council. (1998). National Science Education Standards. Washington, DC: National Academy Press.
5. 洪振方. (2000). 探究式教學的歷史回顧與創造性探究模式之初探。科學教育學刊, 8(3), 163 - 184.

6. 林志能 & 洪振方. (2008). 論證模式分析及其評量要素。科學教育月刊, 312, 2 - 18.
7. 李如偉, 蘇明洲, 黃泮翔, 呂仲誠, & 高慧蓮. (2012). 以科學讀寫模式提升國小學童論證能力之研究。科學教育學刊, 20(6), 483 - 514.
8. 李松濤, 林煥祥, & 洪振方. (2010). 探究式教學對學童科學論證能力影響之探究。科學教育學刊, 18(3), 177 - 203.
9. 許良榮. (2020). 探究與實作：科學遊戲導向。五南出版社.
10. 鄭榮輝 & 林陳涌. (2015). 科學實作教學理論與實務。國立臺灣師範大學科學教育中心.