

# 教育部106年度中小學科學教育計畫專案

## 期末報告大綱

計畫編號：48

計畫名稱：發展有效的教學模式及評量工具以引導國小高年級學生  
學習科學解釋與論證

主 持 人：楊秀停

執行單位：台中市后里區月眉國小

### 壹、計畫目的及內容：

科學的目的在於解釋現象(Stefani & Tsaparlis, 2009)，而科學教育的主要目標則在培養學生的高層次的科學素質(National Research Council [NRC], 1996)。因此，幫助學生發展科學概念的理解，並以科學知識解釋生活中的現象是相當重要的(Nieswandt & Bellomo, 2009)。學習科學包含了學習者建構及再建構自我解釋，並評估相關性及完整性之動態過程(Kapon, 2017)。而這樣的課程若能融入正式課程當中，則能從平時自然課中培養學生進行科學解釋，讓他們習於運用科學概念解釋日常現象。研究者之前發展中年級之教學模式已證實有助於學生學習科學解釋(Yang & Wang, 2014；楊秀停、蓋允萍、王國華，2014)，而本次研究轉而著重於高年級學生的科學解釋，並以擴充科學解釋中反例的部分，再進一步引導其完成科學論證。

本研究目的為發展有效引導國小高年級學生由科學解釋到科學論證學習之教學模式及評量工具。待答問題如下：

1. 高年級學生參與此科學解釋及論證教學模式之學習結果？
2. 學生參與此教學模式之科學解釋品質？

### 貳、研究方法及步驟：

本研究挑選學校五、六年級共四班學生，研究者建構一教學模式融入自然課室教學中，並能引導學生由科學解釋逐步學習到科學論證。過程中收集質性及量化資料，以理解學生學習過程之困難，修正並歸納出合適的教學模式，並發展科學解釋評量工具以分析學生的學習成效。

#### (一)研究設計與對象

本研究設計以單組之前實驗設計為主，不列控制組，所參與研究之對象皆接受融入科學解釋之教學模式，採取混合式研究方法(mixed-methods approach) (Kang, Thompson & Windschitl, 2014)，主要融合質性及量化的研究方式，除了比較各單元教學前後學生之科學解釋前後評量卷之差異，並分析學生科學解釋學習單之寫作品質。

本研究對象為鄉村小學五、六年級共四班學生為主，配合其課本內容，由實驗活動或閱讀活動中引入科學解釋，並進一步引導學生學習科學論證。五年級二班分別為20人，二班學生較活潑，喜愛實驗操作，於上課時都能遵守規矩並勇於發言，但有少數幾位學生較不專心，大約有二到三位學生較無法理解上課的內容，需要身旁的同學

提點及協助。而六年級二班人數則各約為19人，此二班學生上課也屬活潑且熱愛實驗操作，上課中能勇於討論及發言，並提出合適的問題，大多數學生理解能力尚可，但其中有一至二位學生程度稍落後，需要多點時間或多些協助，才能完成指定之任務。

## (二)教學流程與活動設計

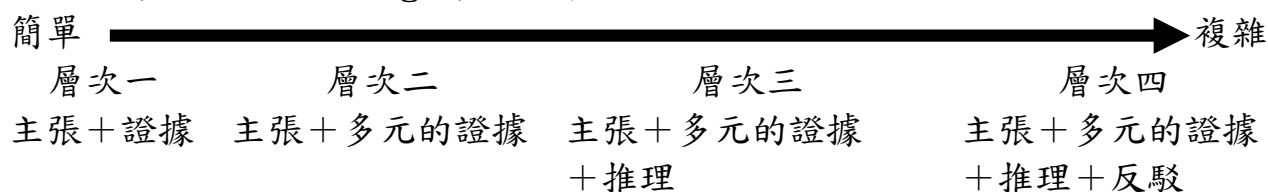
本研究於五年級分別挑選太陽及水溶液二單元進行，而六年級則挑選一個單元：熱對物質影響。於單元教學前後施測科學解釋或論證之單元概念評量卷，以理解整體學生在單元科學概念之科學解釋及論證理解之改變。教學過程首先以口語解釋為主，由口頭回答描述性寫作的問題，此法不同於中年級的實驗模式是以寫作完成描述性解釋的問題(Yang & Wang, 2014；楊秀停、蓋允萍、王國華，2014)，主要乃因高年級學生的思路較清楚，語文表達較流暢，不需如中年級以文字書寫來引導，反而可縮短此過程，透過觀察活動而以口頭回答即可；接著，教師提及詮釋性解釋的問題，此問題學生需舉例說明得更清楚，教師即可引入科學解釋與論證中主張、證據、推理及反駁等成分，以提問方式引導學生思考，並鼓勵進行科學解釋的表達。(如表一)

表一 每單元之教學流程及資料收集對應表

|     | 教學流程說明         |  | 資料收集                         |
|-----|----------------|--|------------------------------|
| 教學前 |                | 理解學生的背景知識  | 單元內容及科學解釋評量卷前測               |
| 教學中 | 口語解釋<br>↓      | 由觀察為起始，引導學生回答描述性問題，初步由口語解釋開始                     | 課室影音資料                       |
|     | 引入科學解釋的成分<br>↓ | 教師提問詮釋性科學解釋問題，引導學生說明清楚，並引入科學解釋與論證中主張、證據、推理及反駁等成分 |                              |
|     | 科學解釋的寫作        | 由實驗為起始，實驗操作後引導學生完成科學解釋的寫作                        | 科學實驗及解釋寫作單                   |
| 教學後 |                | 分析並檢測學生科學解釋之理解及應用                                | 單元內容及科學解釋評量卷後測<br>科學閱讀及解釋評量單 |

本教學模式從科學解釋到科學論證的教學過程，主要以循序漸進的方式將科學解釋的層次由簡單到複雜，主要包含科學解釋中主張、證據及推理等三部分，再加入反駁而形成科學論證。此理念主要修正自 Toulmin 的論證架構圖，再簡化為國小高年級學生可理解之面向，而形成包含主張、證據、推理及反駁等四部分之科學論證。

剛開始先以主張及證據為主，接著強化多元的證據，再加入推理，最後再加入反駁。反駁是較高層次的思考歷程，合適於國中生及較高年紀的學生(Zemba-Saul, McNeill, and Hershberger, 2014)。



圖一 解釋層級對應圖

而教學後，再以單元內容及科學解釋評量後測卷，以及科學閱讀及解釋評量單施

測，以理解學生在科學解釋的表現。

### (三)研究工具

#### 1. 各單元之科學概念及解釋評量卷

此單元科學概念及解釋評量卷主要以課本內容之科學概念為主，發展出不同面向之科學解釋陳述句，以四選一之選擇題方式呈現，包含由主張判斷合宜的證據、證據推回主張，或是解讀圖表作推理等不同面向之科學解釋的理解情形，最後，再包含科學閱讀理解之文章及相關問題等。科學理解之文章主要改寫自科學人雜誌，內容稍簡化為高年級孩子能理解之程度，而文本閱讀理解之問題則包含促進國際閱讀素養研究（Progress in International Reading Literacy Study，簡稱 PIRLS）所分的四個層次，分別為：提取訊息、推論訊息、詮釋整合訊息，及比較評估等。每單元之評量卷題數以十到十五題為主，並於單元教學實施前後進行測驗，而評量卷發展完成，主要考量內容效度及表面效度，先經由專家審視題目內容與目標之合宜性並作修正，再以他校五、六年級學生作預試，除了檢視題目可讀性的表面效度外，在考驗內部一致性的信度後再作題目的調整及修正，其中五年級太陽單元的內部一致性為0.64，水溶液單元的內部一致性為0.58，而六年級物質與熱單元的內部一致性為0.54。

表二 學生科學解釋品質之評分準則

| 評量面向  |     | 內容層次(分數)      |                       |                      |                        |
|-------|-----|---------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
|       |     | 0             | 1                     | 2                    | 3                      |
| 主張    |     | 未提出主張         | 主張無法完全回答問題            | 提出正確且完整的主張           |                        |
| 證據    | 角色  | 未提供證據         | 僅描述一個活動及資料作為解釋的證據     | 呈現二個以上活動中的概念但有所錯誤    | 呈現觀察或活動中的重點概念為證據以回應主張  |
|       | 一致性 | 未提供證據或證據與解釋無關 | 證據事件與解釋的關係微弱，或部分相關    | 證據事件與解釋描述有邏輯關係的一致性   |                        |
| 解釋的深度 | 推理  | 未呈現推理         | 重複證據，連結主張             | 有科學原理連結主張與證據，但是不足以說明 | 運用合適的科學原理來解釋證據資料，並支持主張 |
|       | 反例  | 未呈現反例         | 反例與推理關係不一致，不足以說明推理正確性 | 能運用合適的反例強化推理的邏輯正確性   |                        |

#### 2. 各單元之科學解釋及論證學習單

科學解釋及論證的實施，融入課室教學進行，學習單的記錄主要搭配實驗活動，先讓學生操作相關實驗，並記錄下來。接著，由學生的實驗數據及記錄中，研究者發展一個相關問題，讓學生依據實驗結果提出主張，再依據紀錄中所呈現的數據，整理出證據並一一說明，再統整證據所呈現之現象回應主張，並稍作推理，若再能舉出反例以強化主張則更完整。

### (四)資料收集與分析

本研究所收集之資料包含質性與量化資料，量化資料如單元概念及科學解釋評量單之結果主要以成對樣本 t 檢定來比較每一組在每單元的前後測結果，同時計算效果量 (effect size)，以了解每組在各單元教學後進步的程度差異，而學生所書寫之科學解釋學習單等質性資料，除了進行描述性統計的量化分析外，特別針對學生書寫內容進行質性內容分析，先進行編碼，再加以類別化，並結合 McNeill (2009) 所提出的科學解釋評量準則，以及 Kang 等人(2014)所提出之學生科學解釋品質評量標準，加以修正後作為本研究評量學生科學解釋品質之準則，以理解其概念學習及科學解釋與論證之表現（如表二）。並由多位自然科相關教及研究者進行評分，將初步比對各評分者的評分一致性後，稍加討論，並以平均分數呈現於學生的評量上。而教學過程中的錄影音及晤談影音，皆轉為文字進行分析及編碼，以理解教學過程中學生學習的狀況，此編碼由研究者及相關人員進行，並初步比對其評分一致性，再加以調整，最後呈現出學生參與此教學模式之學習成效及科學解釋與論證之寫作單品質。

### 參、目前研究成果：

本研究結果將分三部分呈現，以太陽單元為例呈現研究結果，先分析高年級學生參與此科學解釋及論證教學模式之學習結果，其次分析學生參與科學解釋的寫作品質，最後呈現本研究科學解釋評量工具之發展歷程。

#### (一)高年級學生參與此科學解釋及論證教學模式之學習成效

資料初步分析主要依學生科學概念及解釋評量單的結果，先作量化分析，經成對樣本 t 檢定結果發現，五年級學生在太陽單元中，前測平均為8.12，而後測成績為10.49，顯現出教學前後平均差異已達顯著性成長，效果量為0.77，皆顯示出單元在教學過程中能有效提高學生的概念理解。

表三 五年級學生在太陽單元成效評量單之成對樣本 t 檢定結果

|    | 平均數   | 個數 | 標準差  | t 值(顯著性) | 效果量<br>(effect size) |
|----|-------|----|------|----------|----------------------|
| 前測 | 8.12  | 41 | 3.07 | 5.17***  | 0.77                 |
| 後測 | 10.49 | 41 | 2.09 |          |                      |

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001

除此之外，我們再進一步分析不同題型面向的答題情形會發現，在五年級的太陽單元當中，主張與證據的相互推論是學生最容易學習的部分，判斷主張與證據的相關性，不論是從主張推證據，或是從證據推主張，學生透過教學，能夠很快學會判斷二者的相關性，進步率也較高。而進步率較低的則是有關推理的問題，直接從問題提出主張及推理，通常是學生最不容易學習的部分，此需與學生的相關概念結合，才能作良好的判斷。雖說推理對學生而言是不易理解的，但是若配合科學文本的閱讀，則發現學生在推論訊息上比單元概念有更好的理解，學生除了能從科學文本閱讀中直接提取訊息外，也大都能從文章中推論訊息。

表三 五年級太陽單元答題分析表

| 題型面向      |              | 題號 | 前測答對率 | 後測答對率 | 進步率   |
|-----------|--------------|----|-------|-------|-------|
| 提出主張      | 判斷合於問題的主張    | 1  | 0.24  | 0.32  | 25%   |
| 主張與證據相互推論 | 由主張推論證據      | 2  | 0.32  | 0.61  | 47.5% |
|           | 由證據推論主張      | 3  | 0.46  | 0.76  | 31.6% |
| 提出主張及推理   | 判斷合於問題的主張及推理 | 4  | 0.22  | 0.22  | 0%    |
|           | 解讀表格並推理      | 5  | 0.32  | 0.44  | 27.3% |
|           | 判斷合於問題的主張及推理 | 6  | 0.44  | 0.51  | 13.7% |
| 科學文本閱讀理解  | 層次一：提取訊息     | 7  | 0.78  | 0.98  | 20.4% |
|           | 層次一：提取訊息     | 8  | 0.63  | 0.73  | 13.7% |
|           | 層次一：提取訊息     | 9  | 0.73  | 0.95  | 23.2% |
|           | 層次二：推論訊息     | 10 | 0.68  | 0.85  | 20%   |
|           | 層次二：推論訊息     | 11 | 0.78  | 0.88  | 11.4% |
|           | 層次二：推論訊息     | 12 | 0.59  | 0.78  | 24.3% |
|           | 層次三：詮釋整合訊息   | 13 | 0.61  | 0.85  | 28.2% |
|           | 層次三：詮釋整合訊息   | 14 | 0.59  | 0.85  | 30.6% |
|           | 層次三：詮釋整合訊息   | 15 | 0.73  | 0.88  | 17%   |
|           | 層次四：比較評估     | 16 | 0.36  | 0.78  | 53.8% |

## (二) 學生參與此教學模式之科學解釋品質分析

針對學生書寫科學解釋評量單的結果分析上，我們主要分為主張、證據的角色、證據的一致性、解釋深度的推理與反例等五個面向進行評分，除了證據的角色及解釋深度中的推理為0到3分之外，並其餘面向則為0到2分，以此理解學生的科學解釋品質。

在五年級的太陽單元當中，學生於科學解釋品質的結果分析上發現，主張面向有85.3%的學生能達到2分，代表大部分學生的主張能有效地回應問題並理解題意，只有少數幾個無法提出合適的主張，而在證據方面，證據的一致性遠比證據的角色來得容易理解，學生大都能判斷證據與主張之相關，因而在證據的一致性方面有65.9%的學生能舉出與主張相關之證據，但在證據的品質上則不然，能提出二種以上且正確的證據卻只達19.5%，而多數學生可提出一個證據，或可提出二種但不完全正確之證據。而推理的部分，部分學生無法達到推理的說明，而多數學生則是得以作合適的推理，此結果顯示高年級學生的推理表現確實優於中年級的學生(Yang & Wang, 2014)。但相較於推理，反例的說明對學生而言則顯得困難多了，學生需提出一個假設性的錯誤再加以推翻，以強化原有的主張是正確的，因而只有少數學生(14.6%)能完整地舉出反例來說明，而有43.9%的學生是無法以反例來說明的，41.5%的學生所提之反例說明不完整。

從整體平均分數來看，主張及推理的平均分數是較高的，以s50105學生為例，主張中能以”中午時影子最短”來說明太陽下的影子和時間之關係，符合問題之面向，推理部分也能以不同時間的影子長度變化來強化太陽下的影子和時間是如何相關，但其推理的說明是有誤的，從早到中午影子變短，並非”從早到晚”，況且推

理中無適時呈現相關數據以強化論點，故在推理表現的評分上近於2分，屬吻合推理之說明但不完整。然在證據的部分是不足的，無法合適地引用評量單上的表格所紀錄之數據加以說明，只是以文字描述其現象，同樣在反例的部分也無法說明反例以強化主張。

表四 太陽單元科學解釋評分結果

| 太陽單元<br>評分 | 主張(個數/<br>百分比) | 證據(個數/百分比) |            | 解釋的深度(個數/百分比) |            |
|------------|----------------|------------|------------|---------------|------------|
|            |                | 角色         | 一致性        | 推理            | 反例         |
| 0          | 2 (4.9%)       | 6 (14.6%)  | 6 (14.6%)  | 7 (17.1%)     | 18 (43.9%) |
| 1          | 4 (9.8%)       | 13 (31.7%) | 8 (19.5%)  | 2 (4.9%)      | 17 (41.5%) |
| 2          | 35 (85.3%)     | 14 (34.2%) | 27 (65.9%) | 16 (39%)      | 6 (14.6%)  |
| 3          |                | 8 (19.5%)  |            | 16 (39%)      |            |
| 平均分數       | 1.8            | 1.59       | 1.51       | 2             | 0.71       |

然而通常在反例上能完整呈現的學生，在整體科學解釋的說明也是較清楚的，例如 s50207 學生，在主張中能說明一整天不同時段的影子長短變化，並在證據中提出記錄表中早上、中午及下午等三個不同時段所測得的影子長度，推理中能以證據所顯示之數字強化原來的主張，證實早上的影子和下午的影子較長，而中午的影子最短。特別是在反例當中的說明，先假設自身主張論點若有誤，則可能出現的結果應該為何，再呈現事實並非假設之結果，所以假設不成立，反之則自身原有主張是正確的。因此，此學生在主張、證據的角色、證據的一致性、解釋深度的推理與反例等五個面向的評分皆可達到2-3分等完整的分數，也可見此學生之相關概念清楚，且能考量相關因素並以正反向推論以強化主張。而反例的說明如同學生的後設認知能力，可藉此來判斷自身對概念的理解程度。

| 學生     | 主張                    | 證據  | 推理   | 反例  |
|--------|-----------------------|---|--|---|
| s50105 | 中午的影子最短               | 因為中午的太陽在我們的正上方，所以影子很短。                            | 從早到晚影子越來越短，到中午影子越短。                                | 不知道   |
| s50207 | 早上的影子和下午的影子較長，中午的影子最短 | 早上9:15影子長度約8cm，中午11:00影子長度約3.8cm，下午14:50影子長度約12cm | 中午影子長度約3.8cm，早上影子長度約8cm，下午影子長度約12cm，所以早上的影子和下午的影子長 | 如果中午的影子不是最短的，但是下午和上午的影子才是最長的，所以時間越接近中午影子最短。 |

#### 肆、目前完成進度

目前已完成三個單元之教學活動及資料收集，正在進行資料分析及結果撰寫中。

#### 伍、討論與建議

由本研究結果可顯見此教學模式有益於學生科學學習之概念理解，也因此看出高年級學生在推理方面的說明確實優於中年級的學生，建議可於高年級課程中加入反例的說明，此提高了科學解釋的難度，但反例的呈現能強化學生的科學解釋的理解，並藉此批判自身主張的適切性，訓練學生後設認知能力。