

# 兒童科學理論發展初探

黃泚翔\*

## 摘要

本研究主要目的為應用主題式科學探究教學探討兒童科學理論發展機制，進而瞭解兒童科學理論發展模式，藉以提昇科學教學成效。本研究成立科學探究教師團隊進行課程設計與試教，教師團隊成員均有任教國小自然科經驗或本身即為自然科任教師，且為數理教育研究所畢業，相當瞭解科學探究課程。主要研究工具為多階段主題式科學探究課程、科學解釋問卷，以及兒童科學理論發展訪談問卷等，研究對象為屏東市國小學生，為了讓兒童能夠充分表達意見並與他人意見交流，本研究擬採用小組討論及個人訪談方式進行。初步研究結果發現學生無法明確提出科學理論的主張，而對於理論承諾則有不同面向，有待深入分析。

**關鍵詞：**幼兒科學、探究教學

---

\* 大仁科技大學幼兒保育系副教授，通信作者：phhuang@tajen.edu.tw

## Explore the development of children's scientific theories

Pai-Hsiang Huang\*

### Abstract

The main purpose in the study is executing the multistage thematic scientific inquiry teaching to discuss how the children's scientific theories develop and build children's scientific theories development model to improve the effect of children's scientific teaching. Every team member in the study has the experiment of teaching science and is graduated from Mathematic and Science Education Graduate Institute. Therefore, they are quite familiar with science inquiry teaching. The main research instruments in this study include the multistage thematic science inquiry curriculum, the scientific explanation questionnaire and the interview questionnaire of children's scientific theories development. The research subjects come from three elementary schools in Ping Tung County. In order to let children express and exchange their opinions, this research performs with group discussion and personal interview. According to the preliminary analysis, students can't obviously raise a claim of scientific theories. However there are different aspects of theoretical commitment which need advanced analysis.

**Keywords :** science for children, inquiry teaching

---

\* Associate Professor, Department of Early Childhood Care and Education, Tajen University  
correspondence : phuang@tajen.edu.tw

## 壹、前言

科學學習的研究認為空白如紙的概念是不存在的看法已獲得共識，兒童對其周遭事物自動建立其想法，並且從不同來源吸收點滴和片段的資訊，因此他們在學習科學課程之前多少已具有一些學科的先前概念(Confrey,1990)。這個結論本身是平凡無奇的，但問題重點在於非白紙般的概念是如何形成的(Smith,DiSessa & Roschelle,1993)。根據建構主義的觀點學習者是會主動建構他們自己的知識的，他們會運用既有的知識，有意義地去解釋新的資訊。近年來國內針對兒童科學概念系統發展的研究漸受到重視，根據 Sternberg(1999)陳述” No individual concept can be understood without some understanding of how it relates to other concepts.” 這說明了概念不能以單獨的形式被理解，知識的本質應由概念系統對應的理論運作方式來理解，此觀點與 Hewson 等人所提之概念生態系相同(Hewson，1996)，此也是本研究之主要目的。

本研究擬用科學探究教學取向探討兒童科學理論發展其原因在於，科學探究教學課程對於兒童科學學習是一良好途徑，Prairie(2005)建議在兒童階段的科學訓練應鼓勵學童發現「難題」，並幫助他們探索解決難題的方法，在此架構下兒童被鼓勵操作物件、觀察和預測結果、傾聽和使用語言、以及和成人或年長兒童合作進而發展其思考能力。本研究所稱「多階段主題式科學探究教學」基本上在發展一科學概念主題為主的探究教學，並且由該主題串起多階段科學探究教學，從而可以瞭解兒童科學理論發展機制。無論是以科學探究釐清孩童自發性的理論，亦或老師和孩子一起與建構對於物理世界的

理論，研究者認為在科學教學中上述兩個目標是一體且不可切割的，因為兒童並非孤獨的進行建構歷程，對幼兒而言，他們是從操作、從嘗試錯誤、從他人的資訊(同儕、成人、或教師)，經過傾聽與觀察形成科學概念。本研究所提多階段主題式科學探究課程可以強化教師對於科學主題概念、課程目標、活動目標之間的連慣性加以思考，進一步提供其日後教學設計的參考。

現今科學學習理論均支持概念不能以單獨的形式被理解，而知識的本質應由概念系統對應的理論運作方式來理解，對於兒童科學理論發展的理解有助於兒童科學課程設計的完整性及一貫性，教師更可以依據兒童科學理論發展機制深化兒童的科學認知、提升學習動機、或導正兒童的另類科學概念。本研究從科學探究教學探討兒童科學理論的發展，從而建立兒童科學理論發展模式，藉以提昇兒童科學教學成效，此外研究合作教師則可以從研究過程中提昇科學探究教學知能。

## 貳、文獻探討

### 一、科學知識的建構

Lawson(1995)認為科學知識可以分為兩類，第一類為科學過程的知識，第二類則為科學結果的知識，包含科學事實、概念、理論。心理學家則將之稱為程序性(procedural)知識及陳述性(declarative)知識。所謂陳述性知識是指關於事實、想法、實物或事件的知識，它是一種知其然的知識，能知其然就能對所知的事物做定義或描述。所謂程序性知識是指瞭解事情要如何做的知識，它包括動作技能、認知技能與認知策略的知識，例如知道如何開車等，

它是一種知其所以然的知識，能知其所以然就能採取行動解決問題，所以問題解決與擬定計劃都是包含有程序性知識的一種認知活動。

科學知識的建構基本上自我調適(self-regulation)的過程如圖 2-1 所示(Lawson, 1995)，自我調適是指個體能動手去尋找解決矛盾或統合新經驗的關係和模式，其開始於探究目前思考和行為，從而發明新的想法或行為，這些想法或行為在運用時有可能成功，也可能失敗。自我調適其功用在增進個體理解這個世界，這是新的陳述性知識；以及改進個人建構理解的過程，這是新的程序性知識。科學知識的建構無論從理論性概念的學習，亦或概念生態系觀點，此二者有異曲同工之妙，概念不能以單獨的形式被理解，知識的本質應由概念系統對應的理論運作方式來理解。

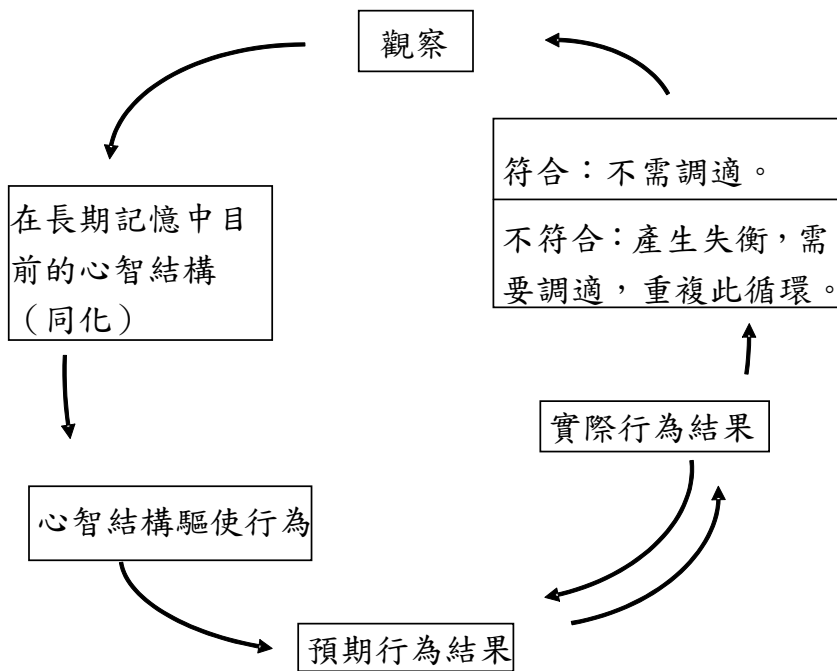


圖 2-1 自我調適的循環過程(Lawson, 1995)

## 二 兒童科學理論的形成

我們可以重新檢視 Kuhn(1977)對科學理論判定標準的看法，進一步探討理論在科學體系中改變的狀況來瞭解科學理論的本質。Kuhn 認為在科學體系中的理論看起來不好應用，而且可能替換的時機成熟了，此時理論無法解釋所發現的現象，其失去了簡明性(simplicity)；當理論無法解釋某些資料時，其失去精確性；當理論不再具一致性時；或理論必須改變某些觀點以說明異例；或者其他理論的出現對它沒有明顯關係，以及它不再是非常富有成效的，也就是說它不再支持預測，此時理論就可能被替換。

在科學哲學與科學教育上有三種科學理論發展的模型受到科學史學家和哲學家廣泛地討論，其分別是 Kuhn(1970)、Lakatos(1974)、和 Laudan(1977)。這些模型可能在幾個方面上不同，包括他們提出科學過程細節的程度、改變在科學結果中能被探查到的相對時間、以及它們在結果中能為這些過程和改變產生好解釋的能力。

首先 Kuhn(1970)關心在科學範疇內科學家活動的廣泛延伸，認為科學的進展是因為一個異例的產生，使理論解釋的有效範圍逐漸減小，而且似乎是突然把原有的典範拋棄了，轉而贊同另一個帶有新模型的競爭典範，且此兩個典範之間存在著不可共量性。對於 Kuhn 有關典範的論述，劉嘉茹(2000)認為典範除了基本理論，上包含基本方法、規則、範例與儀器等，其內容相當龐雜；且典範雖然反映出科學的理論系統內在結構的思想，但卻沒有對這種結構作任何具體的探討。

而後 Lakatos(1974)所提出的科學延伸範圍稍微狹窄些，或如他所稱的研

研究綱領(research programmers)。研究綱領的本質是它的「硬核」(hard core)，由一系列有關本體論、認識論和方法論所用來判定科學家在模型操作範圍內不可反駁的基本假定所組成的。一個研究綱領有一「保護帶」與它聯繫著，保護帶由特定的理論和理論伴隨的模型，以及如何發展這些模型的建議事項所組成。而所謂經驗內容，即指研究綱領可適用的現象範圍，研究綱領是用來評價經驗內容的主要標準，亦即進步的研究綱領(progressive research programmers)會平穩增加經驗內容，直到退化的研究綱領(degenerating research programmers)無法顯示經驗內容。Gilbert(1999)認為與 Kuhn 相較，Lakatos 的模型在發覺理論改變的時間架構稍微縮小，但在研究綱領中評價只能由一段長期的時間來決定，此外 Lakatos 的觀點在解釋效用方面高於 Kuhn，因為它在理論、模型、和實驗工作之間有更直接、更強的聯繫，導引它們的修訂或逐漸遺棄。

最後 Laudan(1977)批判 Lakatos 的一些觀點，例如硬核的觀點太剛硬，不能說明在科學史中的粒子事件；決定研究綱領的「經驗內容」是很困難的，例如在不確定因素下如何決定經驗內容；在研究綱領的範疇內，忽視問題解決中隱含的概念意義；對於綱領使用的價值，沒有可能性的合理決定。丁信中(2004)認為科學家們所發明的抽象理論並非是絕對真理的體現，反倒是具有許多侷限性，這些侷限性便是來自於這些有色鏡片所造成的研究範圍與研究限制，使得研究所得的結果與理論雖然可以透過預測以及演繹等推理思維，來加以拓展其經驗範圍，由此看來科學理論具有發展的本質，如此研究兒童科學理論發展的重要性不言而喻了。

Gopnik(1996)所發表的理論論(theory theory)是當代最具影響力的建構主義者理論，基於認知發展的概念是相同機制的結果，導致科學理論的變化。Gopnik 認為認知發展和科學理論的改變是同構的，而心智理論發展的基礎就是一般的認知能力的發展，兒童藉由與後天環境的互動，對人的行為會形成不同的理論，也會透過各種新的經驗修正其理論。Schwitzgebel(1999)進一步綜合簡化理論特徵的看法，提出「兒童認知的發展如同科學理論的改變」，他認為假如我們分析兒童的想法並將這些想法看成一個理論，其滿足：

1. 一個科學理論應該要有一系列的命題(proposition)，諸如建議、提議、敘述、定理、計畫等等，簡言之就是一些主張
2. 科學上任何一組命題均可被視為是一個理論，並在該領域中建立良好的解釋。
3. 贊同科學理論，亦即贊同此一理論就是去接受構成它的一些命題並且去使用它們，或使用它們來解釋理論領域內的現象。

Schwitzgebel 認為理論是將它看成是一種驅動(drive)解釋的產物，在科學教學中反證的出現，學生的解釋—尋找好奇心(seeking curiosity)將被喚起，驅使學生去建構新的理論。若是反證的出現沒有喚起學生的解釋—尋找好奇心，那麼可能他對這一主題可能本來就不存在任何理論，那麼教學者就可以直接引導他發展一套理論。若是解釋—尋找好奇心出現，那麼教學者反而可以因為學生自己有想要有解釋的驅動力而產生興趣和學習而從中獲益，只要一些選好的策劃實例或是資料的要點等小小的指導就可以。

至於學者對於兒童是否擁有理論的看法如何，林燕文、洪振方(2007)綜



合學者看法認為雖然學者對於兒童是否擁有理論有些許差異，但多數學者對於兒童是否擁有理論是持正面看法，因此學童有能力進行論證的科學探究活動。研究者採用兒童擁有科學理論的看法，並且認為兒童會企圖建構一個統一的理論來解釋事件，其建構的過程為一動態過程，因此理解兒童科學理論型式的機制相當重要，教學中科學教師和孩子一起與建構對於物理世界的理論，在過程中可能也涉及對於孩子自發性理論的釐清。但無論是以科學探究釐清孩童自發性的理論，亦或老師和孩子一起與建構對於物理世界的理論，研究者認為在科學教學中上述兩個目標是一體且不可切割的，因為兒童並非孤獨的進行建構歷程，對幼兒而言，他們是從操作、從嘗試錯誤、從他人的資訊(同儕、成人、或教師)，經過傾聽與觀察形成科學概念。。

有些研究者認為兒童的理論是具體的(concrete)，其受到環境條件範圍的限制；是零碎的(fragmentary)，因為在不同的環境條件中類似的現象產生了不同的理論；是不協調的(inconsistent)，因為口語描述不相符合；是環境條件約束(context-bound)，因為理論的應用受限於產生它的環境條件；是缺少解釋力(lack explanatory power)，因為他們只能處理有限範圍的問題；以及是憑經驗的謬誤(empirically false)，因為他們與科學家的理論和模式不一致(Gilbert, 1999),因此兒童會形成另有概念。

Duschl, Dea' k, Ellenbogen & Holton(1999)認為不管是科學的或是日常的解釋，只要是完全的符合社會背景的觀點，就算是令人滿意的解釋。事實上並非所有的解釋都是理論化的，其最低限度是有一些應用證據的標準，或者權衡替代的解釋也是需要的。假設我們選擇理論、非理論思考的轉移如圖

2-2，成人被設想成為一貫的理論的或科學的思想者，孩童則有時候是，有時候不是，或者依據皮亞傑理論孩童從來不是理論思考者；假設選擇情形呈現如圖 2-3 就更真實了，成人有時候(或很少?)從事於理論性思考，那麼小孩(一定的年紀或能力水準)是否也是理論思考呢？依據理論論，孩童在任何年齡都有類似成人的基本能力，當然有些研究認為孩童缺少徹底理論思考的能力，然而孩童還是有一些成人理論思考的技能。

Duschl 等人進一步說明理論變化的本質在常識「看作是」(seeing as)的解釋裡乃基於感官知覺的證據，非常不同於在科學「看到是」(seeing that)的解釋裡基於理論運作證據。而從感官知覺觀察到理論驅力觀察的邊界穿越是如何發生的？根據邊界調整概念，把科學的進展(parade)看作是一個科學邊界轉移的過程，如此邊界線的調整能夠隨著常識解釋和科學解釋而發生。

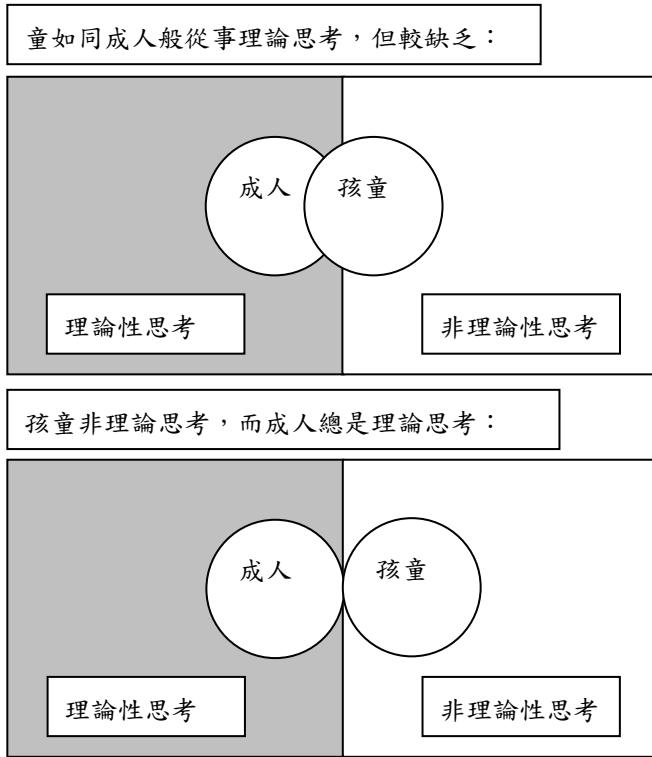


圖 2-2 對於孩童和成人間理論性和非理論性思考描述之過時看法(Duschl 等，1999)

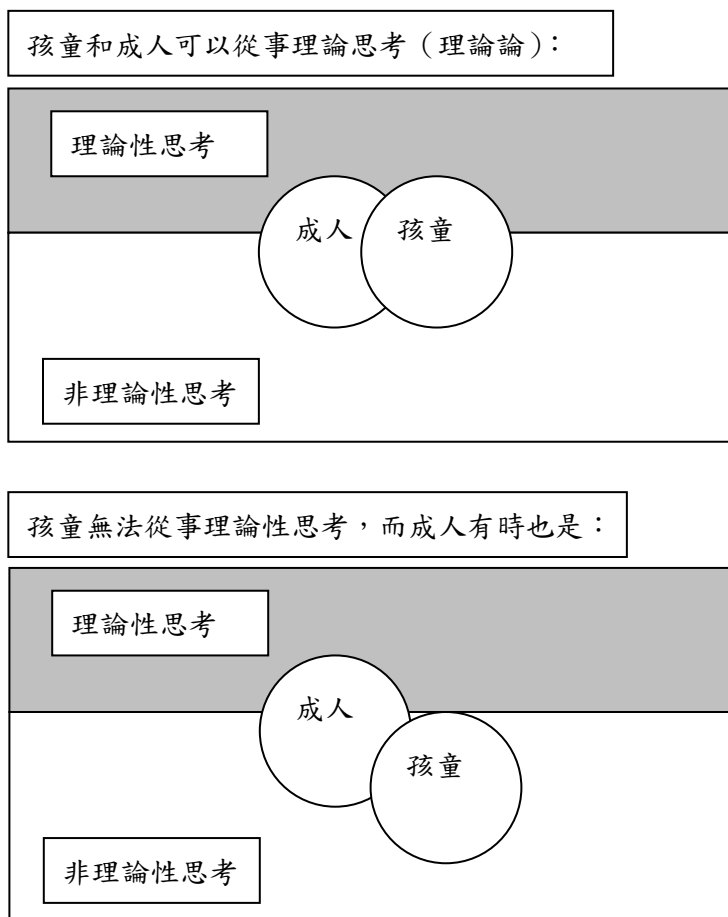


圖 2-3 對於孩童和成人間理論性和非理論性思考描述之較精確的看法 (Duschl 等，1999)

由上述討論可知無論是成人或孩童其理論模式常處於常識解釋的思考模式，然而在常識解釋的思考模式中孩童還是會進行思考的調節以符合感官的觀察，進而穿越理論邊界成為科學理論思考模式，此時學生在學習概念的過程中會顯現對其個體本身已經存在的素樸概念的固執性，所以當所學概念與原有概念衝突時，學生拒絕改變他們主要的理論架構下的概念就不足為奇了，因此教師須由學生科學理論架構的系統中理解學生學習的歷程。孩童發

展科學理論為一連續的過程，理解此一過程將有助於教師設計良好的學習情境以及有效的教學，進而使孩童從事於科學理論的推理，因此探究孩童科學理論發展就顯得相當重要。

近年來國內外有關科學探究教學活動的相關研究相當越來越受到重視，然而現今傳統的科學教學實務充斥於教室中，科學教學注重機械性的背誦學習、內容/工作的涵蓋、升學準備、和知識的傳遞。科學教師非常依賴教科書並且以教師為中心的教學，偶而教師會問學生一些問題，但這些問題大多是收斂式的(convergent)並且只需要學生一個字或非常短的回應，在這樣的教學實務中，老師扮演控制者的角色，大多數老師的主要任務為準備學生使之能在標準化的紙筆測驗裡表現良好。另一方面，在傳統科學教室內，學生大多被要求去學習教科書中的事實和運算法則，並記憶和回憶它們，而在日常生活的實際情境中，學生很少應用和綜合被教的科學概念。根據建構主義的觀點學習者是會主動建構他們自己的知識的，他們會運用既有的知識，有意義地去解釋新的資訊。科學探究活動的過程對學生而言是充滿教育的意義與價值，多數學者均贊同科學探究是科學教學與學習的最佳策略，以探究為基礎的學習有助於學生理解科學本質、科學探究技術與推理的過程，並能培養正向的態度，兒童是天生的小小科學家，本研究計畫擬從科學探究教學探討兒童科學理論的發展，從而建立兒童科學理論發展模式，藉以提昇兒童科學教學成效，此外研究合作教師則可以從研究過程中提昇科學探究教學知能。

## 參、研究設計

### 一、研究對象

本研究對象為屏東市國小中、高年級學童，擬選取合作國小進行研究，研究者與三位國小教師組成協同合作關係的研究團隊。

### 二、研究工具

#### (一)多階段主題式科學探究課程

本研究所稱「多階段主題式科學探究教學」，此探究課程基本上在發展某一主題科學概念，由該主題串起多階段科學探究教學。本研究探究課程採 5E 探究課程，所謂的 5E 包含投入(Engagement)、探索(Exploration)、解釋(Explanation)、精緻化(Elaboration)以及評鑑(Evaluation)等。

建 O 國小：空氣的性質二循環四階段探究教學，小三學生

和 O 國小：探索聲音一循環三階段探究教學，小五學生

OO 大學附小：廚房裡的酸鹼一循環五階段探究教學，小六學生

例如：

空氣的性質二循環四階段探究教學

主題：空氣的性質

概念一：空氣佔有空間

概念二：空氣熱漲冷縮

教學對象：建 O 國小三年級

本文初步以建 O 國小為研究結果分析對象，建 O 國小為屏東市區小學，近年因少子化影響參與本研究團隊的班級一班為 20 人，其中有 1 位學生為

特殊生，因此實際分析人數為 19 人

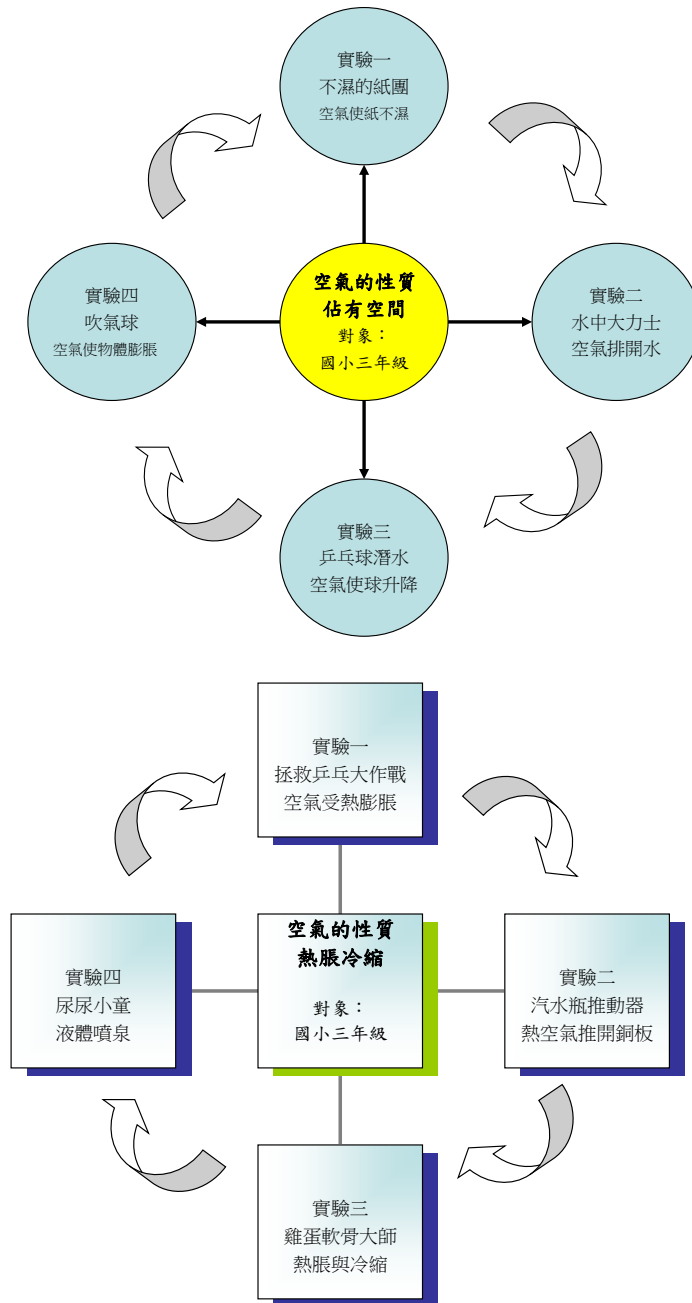


圖 3-1 多階段主題式科學探究教學與課程架構(王老師「空氣的性質」)

## (二)兒童科學理論發展訪談問卷

根據本研究文獻分析的結果，科學理論成分應包含，1. 對現象之主張或看法；2. 並在該領域中建立良好的解釋力；3. 解釋事件時的理論承諾。如此我們可以使用此三個成分來探討兒童科學理論的發展，此外為了讓兒童能夠充分表達意見並與他人意見交流，本研究擬採用小組討論及個人訪談方式進行。

本文研究初步以建 O 國小同學資料分析，主要以科學解釋問卷配合兒童科學理論發展訪談問卷來進行資料收集，並且將每位教師團隊的教學錄影以供後續分析。科學解釋問卷和兒童科學理論發展訪談問卷於多階段主題式科學探究教學之每一階段前後均有施測，科學解釋問卷為全班施測，兒童科學理論發展訪談問卷則根據學業成就測驗成績區分高分組、低分組並各抽樣 4 人，共 8 位學童進行訪談。

## 肆、結果與討論

### (一)科學理論發展模式

經文獻分析以及專家審閱的結果，本研究認為兒童科學理論具有演變發展的本質，且科學理論成分應包含，1. 對現象的主張或看法；2. 並在該領域中建立良好的解釋力；3. 解釋事件時的理論承諾。

研究者認為兒童科學理論的發展與理論解釋力和理論承諾有緊密的關係如圖 3-3，在圖 5 中「高」或「強」類似 CCM(概念改變模式)所言之概念的「狀態」，其中理論解釋力為個體外顯特質，而對於持有理論的承諾則為個體內在特質，二者互為影響。在圖 4-1 中，A 的理論固著性最高，可能



是處於 CCM 概念生態系統中較高的的概念狀態，下表 4-1 將說明 A、B、C、D 的理論狀態，其中 HC(High-Commitment)表示高理論承諾；LC(Low-Commitment)為低理論承諾；HE(High-explanation)為高解釋力；LE(Low-explanation)為低解釋力。

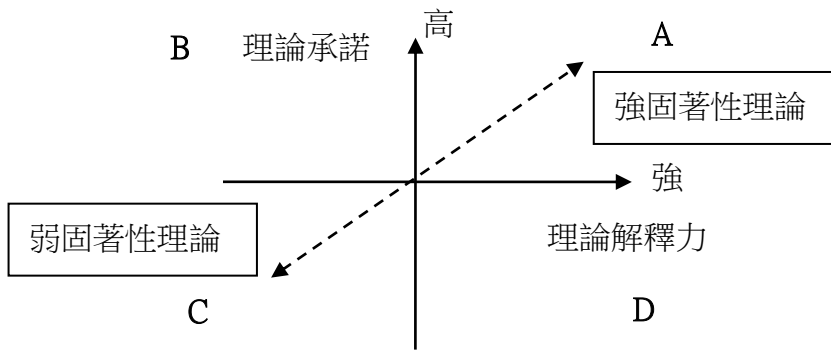


圖 4-1 理論解釋力和理論承諾之關係

表 4-1 理論狀態的說明

	HC 高承諾	LC 低承諾
HE 高解釋力	A 強固的理論持有狀態，其可能是科學理論或生活理論	D 多重現實的科學理論狀態
LE 低解釋力	B 不易改變的理論狀態，此時異例不再是異例。	C 易改變的理論狀態

## (二)科學解釋問卷統計

針對「空氣的性質」主題之科學探究所實施的科學解釋問卷為中年級 1 班共 19 位學生，於教學過程進行 8 次施測，第一循環概念為空氣佔有空間，四階段分別為「不濕的紙團：空氣使紙不濕」、「水中大力士：空氣排開水」、「乒乓球潛水：空氣使球升降」、「吹氣球：空氣使物體膨脹」；第二循環概念為空氣熱漲冷縮，四階段分別為「拯救乒乓大作戰：空氣受熱膨脹」、「汽水瓶推動器：熱空氣推開銅板」、「雞蛋軟骨大師：熱脹與冷縮」、「尿尿小童液體噴泉」。分析結果如表所示，由表可知大部分學生對於科學現象的解釋並不正確，而且學校成就測驗成績似乎與對科學現象解釋正確與否無關，例如第一循環中高分組解釋正確為 6 人次，此部分有待進一步釐清。

值得注意的是在空氣性質第二循環之科學解釋問卷分析中，高分組在解釋正確以及部分正確的比率增加，顯示高分組學童似乎能漸漸掌握以科學概念來解釋現象，此部分本研究亦有進行每一階段之科學解釋問卷再測，參酌訪談分析可得進一步理解。

表 2. 科學解釋問卷分析(空氣的性質)

	解釋正確	部分正確	解釋不正確
<b>概念一：空氣佔有空間</b>			
空氣使紙不濕	5(1)	4(3)	10(5)
空氣排開水	0	1	18(9)
空氣使球升降	6(4)	0	13(5)
空氣使物體膨脹	1(1)	1(1)	17(7)
<b>概念二：空氣熱漲冷縮</b>			
空氣受熱膨脹	5(4)	3(1)	11(4)
熱空氣推開銅板	0	1(1)	18(8)
熱脹與冷縮	2(2)	2	15(6)
液體噴泉	3(2)	3(2)	13(5)

單位：人次，(n)為學校成就測驗高分組

### (三)兒童科學理論發展訪談

本研究於每次科學解釋問卷施測後，以實驗示範方式進行科學理論發展訪談問卷，訪談對象分別取高分組 4 位、低分組 4 位共 8 位學生。初步分析發現大部分學生無法明確提出科學理論的主張，但能提出具體的看法或預測。其次不管是高分組或低分組均有固著自己理論解釋的現象，不過以高分組學生較為明顯，在改變方面高分組學生其改變需經由實驗或親自動手操作，而低分組學生較為兩極化，有的執著於經驗不輕易改變，有的非常輕易改變自己的解釋。高分組在實驗前預測的結果與解釋若與實驗事實不符時則較會堅持己見，並固著於自己的學習記憶或日常經驗。

姝 O，在經老師提點空氣的存在後，能解釋出現象發生的原因。

姝 O 固著於自己的記憶，但與事實不同時，無法立刻改變想法。

暉 O 會想堅持自己的看法，找理由為自己解釋。

不過經由科學探究教學後，高分組學童會「審慎」根據實驗結果來改變自己的想法與解釋，也就是不會固著於自己的想法。

丰 O、詩 O 經過兩次實驗的證明後，願意改變自己的想法。

姝 O 會引用以往不清晰的記憶或經驗，認為是對的，經驗證後能改變想法。

至於低分組學童在實驗前預測的結果與解釋若與實驗事實不符時以的會堅持己見，並與高分組學童一樣固著於自己的學習記憶或日常經驗；但也有些低分組學童相當容易改變自己的想法，卻提不出好的解釋。

辰 O 固著於自己的想法，即使不對也不願修正，也許不是正式課程，所以不願意認真重視這個問題。

品 O 開始會連結生活經驗，但無法正確連結。容易改變自己的想法。

辰 O 面對問題，不會用心思考，常用猜的，遇到與自己猜的結果不同時，會猶豫但不知所措。

(資料來源，初步兒童科學理論發展訪談問卷分析與探究課程教師觀察評價，其中高分組：姝 O、暉 O、丰 O、詩 O；低分組：辰 O、品 O)

## 伍、結論

本研究發現孩童理論模式常處於常識解釋的思考模式，亦即以感官知覺觀察科學現象，然而在常識解釋的思考模式中孩童還是會進行思考的調節以符合感官的觀察，進而成為科學理論思考模式，此時學生在學習概念的過程中會顯現對其個體本身已經存在的素樸概念的固執性，所以當所學概念與原有概念衝突時，學生拒絕改變他們主要的理論架構下的概念就不足為奇了，而對於理論承諾則有不同面向，有待深入分析。孩童發展科學理論為一連續的過程，理解此一過程將有助於教師設計良好的學習情境以及有效的教學，進而使孩童從事於科學理論的推理。

## 參考文獻

- 丁信中(2004)。 *青年學生於理論競爭論證過程中對其支持理論侷限的覺察*。  
國立高雄師範大學科學教育研究所博士論文(未出版)
- 林燕文、洪振方(2007)。對話論證的探究對促進學童科學概念理解之探討。  
*花蓮教育大學學報*，24期，頁139-177。
- 劉嘉茹(1999)。 *以研究綱領與本體分類論的觀點探究概念改變機制之研究*。  
國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文(未出版)，台北。
- Confrey, J. (1990). *A Review of research on student conceptions in mathematics, science, and programming*, in C.B. Cazdan (ed.), *review of research in education*, American educational research association, Washington D.C., 16, 3-56.
- Duschl, R. A., Deaák, G. O., Ellenbogen, K. M. & Holton, D. L. (1999). *Developmental and Educational Perspectives on Theory Change: To Have and Hold, or To Have and Hone?*, *Science & Education*, 8(5), pp525-542.
- Gilbert, J. K. (1999). *On the Explanation of Change in Science and Cognition*. *Science & Education*, 8(5), pp543-557.
- Gopnik, A. (1996). *The scientist as Child*. *Philosophy of Science* 63(4), 485-514.
- Hewson, P. W. (1996). *Teaching for conceptual change*. In David F.T. et al(Ed.), *Improving Teaching and Learning in Science and*

- Mathematics*. NY: Teachers College Columbia University.
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolution*, University of Chicago Press, Chicago.
- Kuhn, T. (1977). *The essential tension: selected studies in scientific tradition and change*, University of Chicago Press, Chicago.
- Lakatos, I. (1974). Falsification and methodology of scientific research programmes, in I Lakatos and A. Musgrave(eds), *Criticism and growth of knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, 91-196.
- Laudan, L. (1977). *Progress and its problems*, Routledge and Kegan Paul London.
- Lawson, A. E. (1995). *Science Teaching and The Development of Thinking*. California: Wadsworth Publishing Company.
- Park, J. & Jang, K.-A. & Kim, I. (2008). An Analysis of the Actual Processes of Physicists' Research and the Implications for Teaching Scientific Inquiry in School. *Research in Science Education*, V39, pp111-129.
- Prairie, A. P. (2005). *Inquiry into Math, Science and Technology for Teaching Young Children*. Thomson Learning Co.
- Schwitzgebel, E. (1999). Children's Theories and the Drive to Explain. *Science & Education*, 8(5), pp457-488.

- Smith, III, J. P., DiSessa, A. A. & Roschelle, J. (1993). 'Misconceptions Reconciled: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition', *The Journal of the Learning Sciences*. 3, pp115-163
- Sternberg, R. J. (1999). *Cognitive Psychology (2nd ed.)*. Orlando, FL: Harcourt Brace College Publishers.