第壹章　緒論

為自然現象提出合理的解釋，是科學研究者的目標。針對某一自然現象，能給予學生適當的解釋，則是教育工作者或科學教育研究者的目標。「解釋」是日常生活和教室中常見的行為，尤其需要討論自然現象成因的科學教育，更是不可或缺。

而同樣的一個自然現象，我們可能會有不同的解釋。解釋之所以發生變化，來自解釋者面對不同認知能力的個體，或是引用不同的解釋類型。例如：同樣是蘋果從樹上落下，對於小學生和成人可以有深淺不同的解釋，也可以從物質科學領域的牛頓定律或是生命科學領域的植物荷爾蒙運作來說明。換言之，一個自然現象可以有很多種的解釋。

不同的解釋方式，代表著不同認識世界的方式，例如：用物質科學或生命科學的立場來看植物果實落地；也代表著人類科學的進步，例如：用亞里斯多德或牛頓的方式來看物體落地；也代表著解釋者因應需解釋者的知識與認知能力所做的變通，例如：用送子鳥或女性生殖構造來對幼兒或中學生解釋胎兒的誕生。作為科學教育研究者或中學教師，有必要探索所謂解釋類型，也就是不同的解釋方式，以及其對教學產生的意義。

在生物科學方面，自十九世紀達爾文的物種原始一書發表以來，演化一直是

備受矚目的課題。正如我們現在所知，達爾文的天擇說是教科書用來解釋演化現象的典範。但是，如同當年天擇說取代了用進廢退說與創造論，現在許多科學家也注意到，要解釋地球數十億年來生物的出現與絕滅，單靠天擇說，恐怕過於簡化，就以生命起源而論，達爾文的天擇說毫無用武之地。近二十多年來，一些西方科學家注意到複雜系統，認為演化現象是一個複雜系統機制運作之後的結果。複雜系統觀這種解釋，似乎更完整清楚地解釋了演化現象。

演化論的學習困難，困擾著教師、學生，也是生物教育研究的主要課題之一。文獻中對於演化論的討論，除了西方受宗教信念影響而著墨甚深的創造論與演化論爭議，主要也在看如何移除學生頑固的拉馬克用進廢退想法。對於拉馬克用進廢退說之難以移除，許多研究者分別提出許多假設和改進建議，例如：Chi 等人以本體論的角度視之，認為用進廢退說與天擇說分屬不同概念本體，而學生心靈與前者屬相同本體，因此學習天擇說涉及本體遷移，這是一個困難的概念改變過程（Chi，2005）。筆者認為經由對解釋本質的探討，讓我們可以從另一種取向來一探學生演化論的學習困難，這個新的取向即為解釋類型。與 Chi 有類似的推理邏輯，筆者認為學生對於演化的解釋偏於特定的解釋類型，與拉馬克的解釋類型相同，而正與達爾文的天擇說的解釋類型有異，這或許也是學生學習困難的原因，本研究亦將試圖探究此點。

達爾文的天擇說比拉馬克的用進廢退更合理的解釋了演化現象，而複雜系統說法又彌補了天擇說過於簡化的不足（Waldrop，1992）。我們可以說天擇說結合

複雜系統觀(在本研究簡稱之為多因子天擇)是當今最能完整說明演化的解釋，但解釋的好壞，需受到另一個影響因子，也就是學生的認知能力影響。複雜系統觀雖是一個好解釋，但是中學生可以接受嗎？高中生才能接受，還是國中生就可以理解？若中學生可以接受，並能更清楚洞察演化現象，我們是不是該改寫教科書了？若是不能理解，那原因為何？

因此，本研究將經由解釋類型和複雜系統觀兩個取向，以國中七年級和高一學生為研究參與對象，來探討學生學習演化的困難，並試圖改善演化論的教學及教科書在此方面的編寫方式。希望能對中學演化教學有些貢獻。本章將先更詳細介紹本研究的動機，以及研究問題與目的，另外再針對研究所使用專有名詞的定義、以及本研究的研究範圍與限制等加以說明。

第一節　研究動機

科學不只是追求預測和控制自然現象，而是要包括賞析和詮釋現象。

Waldrop （1992）

一、「解釋」在科學教室的應用

「解釋」是日常生活中處處可見的行為，需要解釋也是人類獨特於其他生物的需求和能力。只要提出問題，便是希望某人或自己，對此問題提出一個滿意的解釋。例如：當小孩問起「我是怎麼生出來時」，會聽到有些父母尷尬地答：「由

石頭蹦出來的」、「送子鳥送來的」。這雖非適當的答案，但也是一種解釋，也可能暫時性的滿足小孩的好奇。但當小孩日益成長，生活經驗更豐富之後，將開始對之前的解釋感到不滿足，而需要一個更好的、更合理的、更忠於事實的解釋。相同的情形也出現在科學史實中，例如：在中世紀，對於行星的運轉規律，歐洲人滿足於地心說和托勒密的天文學，現在則是滿足於日心說及牛頓力學，未來會不會不滿足，而再去接受另一個新的解釋呢？在孔恩的科學革命史觀提出後，科學哲學和科學史家大概都已對上述問題，持肯定的答案。因此，筆者認為解釋的合宜與否，取決於兩項因素：是否能滿足尋求解答者，以及是否更加地貼近真理。

解釋也是科學教學中不可或缺的行為，教師在和學生一同探討某一自然現象的起因時，兩者都持續在做兩項工作，一是提出問題讓另一方解釋，一是因應對方的問題提出解釋。因此在科學教室裡所有行為中，「解釋」佔有重要比率，是科學教育的重心（Horwood，1988； Unsworth，2001）。探索「解釋」的使用，應為科學教育研究一項值得投入的工作，例如：探討科學教科書文本裡，是如何解釋自然現象，如潮汐如何發生或是蛋白質的生成機制？

由另一個角度來看，當某人向我們解釋某事，我們可能會有不同程度的信服。這種不同信服程度，自然受到許多因素的影響，包括理性與非理性。非理性的因素包括宗教、信念、價值、偏好、個性、權威的影響（楊文金，1998，1999，2000），若扣掉上述這些非理性因素，純粹由理性角度去思量，最讓我們信服的解釋會為何？有一種解釋似乎有此能力，就是所謂的「科學解釋」，例如：「氣功」、

「星象」、「超能力」、「命相」都要尋求科學解釋，來贏得其學術地位。那什麼才算是「科學解釋」？

「解釋」為一種語言行動(Achinstein , 1988), 是解釋者向某位聆聽解釋者，更加詳細的說明某一件現象。因此，這個動作同時涉及一個主體與兩個客體，主體為欲解釋事象的解釋者，例如：「老師」、「教科書作者」，客體之一為被解釋的現象，如「潮汐現象為何發生？」，另一為提出問題或聆聽解釋的個體，如「學生」、「閱讀教科書的教師」。筆者將三者的關係，表徵成圖 1-1-1 所示，解釋者在做出解釋時，必須同時考量兩個客體，一是考量現象的本質，另一是考量聆聽者的狀況如理解能力，當解釋者純粹考量現象本質，而不管接受解釋者的理解狀況，會輸出一套合理解釋，這種解釋可能是當今世上對該現象最合乎真理的解釋，卻有可能沒有多少人看得懂，如愛因斯坦的廣義相對論剛提出時，號稱世上只有一個半人懂，便是典型例子。當以滿足聽眾的需求最大考量時，會輸出另一套解釋，這種解釋純粹只顧慮能不能滿足聽眾的需求，甚至不論對錯。例如：針對「新生兒的到來」，父母向小孩解釋是「石頭迸出來」或是「送子鳥帶來的」。

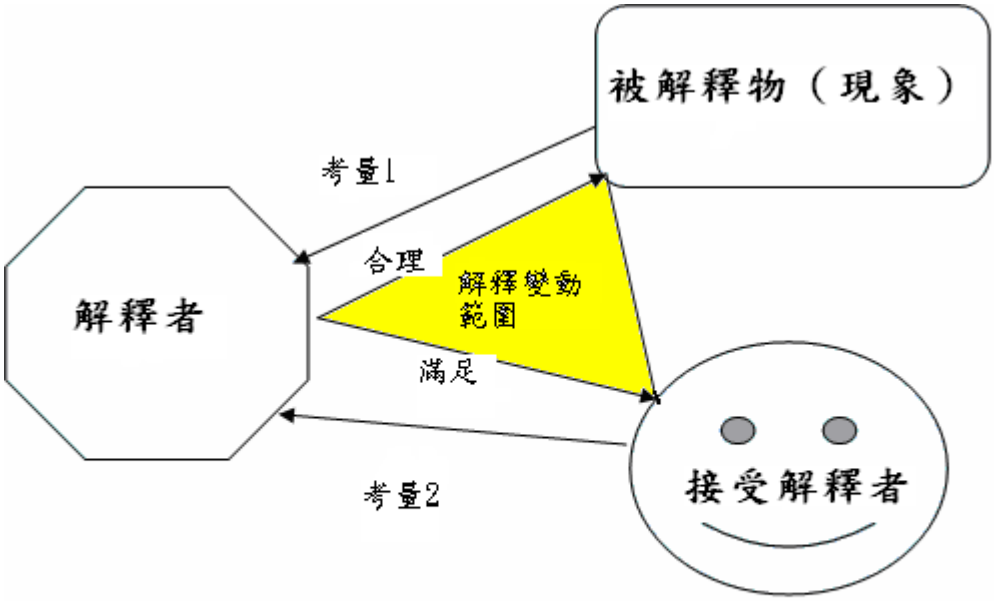


圖 1-1-1 解釋者（E）、被解釋物（P）、解釋的對象（A）三者間的關係

但通常解釋不會偏向這兩極端，尤其是教師在向學生解釋某一現象時，既不可能完全不顧學生的理解狀況，也不能完全昧於事實。所以輸出的解釋，應該落在合理和滿足之間的空間，在此稱為「解釋變動的範圍」。處於其內的解釋輸出，除了教師在課堂上使用的口頭說明或版書之外，也可能是教科書的文字。換句話說，教科書的文字，即是教科書編輯者為了向讀者（包括教師和學生），說明某一現象，因而做出的解釋輸出。因此教科書的內容，除了現象本質的考量不變之外，會因編輯者考量到訴求的對象是教師還是學生，以及教師或學生的情況，而有不同的內容。反映出來的結果可能是：在同一年級的不同學科，有不同的解釋輸出（考量到學科或現象本質）；或是在不同年級的同一學科，針對同一現象，會有不同的解釋輸出（單純考量學生的理解能力）；也可能是：在相同年級的同

一學科，針對同一現象，有不同的解釋輸出（可能來自教科書編輯者較重視教師或另是學生的閱讀理解能力）。

因為解釋現象起因是科學教室裡常見的行為，筆者作為一個科學教育新進研究者兼實際參與教學實務工作的中學教師，對「如何對中學生最適當地解釋自然現象？」的議題倍感興趣。進一步而言，筆者有興趣的主題是：「面對一個自然現象。當給予學生最適當的科學解釋時，學生是否能減少迷思概念？」由於可以探索的自然現象太多，為免失焦。筆者於是選擇本人專長領域生物科學，當中的一項備受注目的研究課題：演化論教學，作為探討議題。探討何謂演化論的最佳解釋，以及學生是否傾向於某種解釋本體，因此難以接受另一種更合乎科學的解釋本體。

二、解釋類型與科學教學

前文提到解釋會隨著科學的進步、聆聽解釋者的認知能力，而有所變動。然而就筆者兩年多來論文研究中文獻探討的過程中發現，即使不考慮科學進步也不考量認知能力，「解釋」其實也還有許多種不同的類型，包括在科學哲學的定義上，以及在科學教學的定義上。例如：Salmon（1998）區分出三種科學解釋：通則性、機制性、功能性，以及數種非科學解釋；Horwood（1988）區分出教學用解釋以及研究用解釋；以及諸多科學教育學者區分出教學中使用的科學解釋以及非科學解釋（Dagher & Cossman, 1992； Talanquer, 2007； Treagust & Harrison，

2000； Treagust & Mamiala，2003)。在花費大量時間閱讀這些解釋類型文獻的同時，筆者也不斷的思索如何將這些關於解釋類型的研究和定義，應用在科學教育研究中。如果只是區分教學中或教科書中使用了哪些解釋類型，這屬於上面所提的學者們研究的方向，且有部分結果。如果從語言學之文法、修辭等，探討教科書如何做出解釋，這屬於系統功能語言學的分析，也已有許多人進行了這方面研究。在論文題目形成的早期，其實筆者是想從知識論角度，探討物理、化學、生物三個學科的教科書在解釋自然現象時會使用何種解釋類型，而科學教師又會使用何種解釋類型，教科書與教師的互動狀況為何？而教師與學生在討論(互為解釋) 時，解釋類型的變動又如何？甚至寫成論文計畫書，隨後並進行探討，但經過一些實證探討之後，覺得此一主題難以深入，除了筆者的專業僅在生物，物理、化學並非自己所長之外，對於教科書所做的前導性研究，也發現若從解釋類型來看，恐怕只有量的分析，而得不到更有說服力、啟發性的分析。

大約於此同時，筆者於博四下時曾選修本校生命科學所林陳涌教授所開設的「生物哲學」一課，該課堂中所閱讀的書籍中，有一大部分與演化有關，在課堂的討論中，也自然地常涉及演化。在一次的上課中，林老師提到了一個令筆者深思的問題，也是啟發這篇論文的因子之一，他說：「現今教科書裡還是有拉馬克的影子，例如某版本高三選修生物教科書中提到：洞穴中的魚，眼睛因不需使用而退化，成為盲眼魚。」這一個對教科書的質疑，讓筆者從此有三個想法，一是教科書真的錯了嗎？二是這種對演化現象的解釋，不僅存在於教科書中，甚至老

師（包括筆者本人在實際教學時）也常常用此說法，如果這種說法錯誤，那為何大家還要用？這種說法的合理性在哪裡？三是學生真的會被此想法所誘導，而產生拉馬克目的論式的迷思概念嗎？之後的一年半，筆者試著寫出對這些問題的討論，不過一直未能成稿，因為在想這些問題時，筆者主要在籌畫著前一段所述的論文方向。而在原有的論文方向受挫後，接受指導老師的建議，把論文的研究主題縮小且精緻化，最後擇定了個人一直所興趣的主題，也就是演化論，想探討解釋類型對於演化論教學或教科書的編寫，是否有所啟示？因此筆者又回去思索了「洞穴魚為何盲眼」的教科書解釋，若從 Salmon 的解釋類型來區分，這是一種功能性解釋，屬於科學解釋，但為何會被認為是「用進廢退說」？教師和教科書為何愛用這種說法？學生如何受到這種解釋偏好的影響？是否是因為「用進廢退說」本身是一種功能性解釋，而學生自身有傾向於使用功能性解釋，導致拉馬克迷思的固著？這些便成為本論文研究的重點之一。

三、演化論的另有概念與複雜系統觀

在生物科學當中，演化論一直是最受各領域注意的學說。達爾文的天擇想法，早已滲透到政治、經濟等社會科學，甚至可以應用到理解人類的學習歷程（林靜雯，2006；Campbell，1960；Hull，1988；Toulmin，1972）。而在科學教育的研究中，如同本論文第二章的文獻探討將指出，多年來已有多位學者和多篇研究在探討演化論相關的學習。在這些研究中，主要探討主題有二：一為信念問題，

即宗教信念對演化論的影響；二為迷思概念，尤其是孩童心中的拉馬克目的論想法。在台灣，由於西方宗教的影響並不大，因此對演化論教學的研究，集中在如何偵測及消弭學生心中難以移除的拉馬克想法，並取代以達爾文的天擇說理論。包括現有的中學教科書都以此為目標。

在演化論相關的科教研究中，有一篇是 Michellene Chi 研究群的作品(Ferrari & Chi，1998)，延續 Chi 近年來的研究，該篇文章中試圖以本體論角度解釋學生學習的困難，他們認為天擇說屬於該研究群後期研究所指的「突現因果」本體，與學生心中素樸的「直接因果」屬於不同本體，由於本體遷移的困難，因此學生在學習達爾文演化論時發生了困難。該研究有很好的結果支持，但筆者總覺把演化這一個涉及遺傳、生態、環境變遷等議題的複雜概念，用突現因果單純的機制說來解釋，似乎不太完善。當時的想法即是試圖定義何謂機制，想探索 Chi 所謂的「突現因果」與「直接因果」兩種機制到底有何不同？在閱讀科學哲學文獻中對於「機制」的探討後，筆者發現「機制」可以定義成科學解釋的一種類型，為了更徹底了解「機制」，似乎得知道何謂科學解釋，於是又花了一段很長時間閱讀整理「解釋」與「機制」的相關文獻。但在筆者所閱讀，以科學哲學為主要關鍵字的文章裡，除了哲學字典之外，並未對「突現」有太多說明。於是再以「突現」、'emergent'等為關鍵字，又收集整理閱讀了一些文獻，將所得結果，發表成一篇文章（湯偉君 & 邱美虹，2007）。

經過這一些文獻探討過程後，筆者認為達爾文的競爭後適者生存的天擇說，

不足以全盤解釋演化的結果。目前最能對演化現象做出完善解釋的理論，應是二十世紀末期新興的突現或複雜系統等的解釋觀，這種所謂的複雜系統觀以整體論觀點來賞析自然，不同於傳統科學化約論以分解、原子的角度剖析現象的成因。「複雜」兩字已成熱門的新興領域，科學家已經使用複雜系統來解釋許多現象，例如：氣候的變遷、股市的漲碟、市場經濟的興衰、和生命的起源及演化等。但複雜系統觀似乎尚未出現在科學教科書的課文中，遑論取代天擇說成為演化現象的最佳解釋。如果生物教科書有關演化的章節以及教師的教學，能融入複雜系統觀的想法，是否可以有效改進學生學習演化論？這些亦是本論文想要探究的方向之一。

四、演化教學與教科書編寫研究

教科書不僅是教師在教學時的依據，也是學生獲得知識的主要來源（許良榮，1997）；Aleixandre，1994）。教科書是標準知識的來源及學習的工具，教師面對不同程度的學生，多半還是依賴教科書的內容，教師授課內容與教科書形影不離（劉昭宏 & 郭重吉，1995）。筆者可以假定，縱使教師的教學策略各異、使用的教學媒體各異，但教學內容應不會偏離教科書內容過大。換言之，若科學教育工作者要改進某一概念的學習，改善某一自然現象的解釋方法，從教科書文本著手，應是根本路線之一。

科學教科書的研究，早期以內容分析為主，近幾年則有許多從語言學的角度

切入，尤其是以系統功能語言來分析科學教科書（李哲迪，2006；趙雅琳，2004；Unsworth，1997，2001）。不過，也有少許研究者引入其他學術領域的理論，以期對科學教科書的編輯提供更多元的建議。例如：林靜雯（2006）以生物學系統演化論和學習心理學的研究為基礎，希望能替自然教科書電學內容的編寫方式提供建議。又如周珮儀（2002）則以後現代文化研究的角度，來觀察教科書的文本權威對教師的影響。筆者發現目前國內教科書的相關研究中皆似乎未探討課文中的「解釋」，而事實上，科學教科書的主要工作之一便是在解釋自然現象起因。因此，筆者引入科學哲學和認知心理學對「解釋」、「現象起因」、「解釋類型」的探討和理論，應能對教科書的編寫提供另一角度的建議。

以演化論概念為例，當我們去探討教科書對於演化論的編寫時，或許可以採用概念分析，探討它使用了哪些主概念及次概念，以及概念的連結，繪出概念圖等。或許亦可參考課程綱要，討論不同學習階段的教科書，對於演化論論述的深淺。但以筆者的想法，演化是一種現象，演化機制是說明導致這個現象發生起因的一種解釋，而這一種解釋屬於某種解釋類型。換句話說，我們可以從解釋本質的角度，也就是現象與成因的連接為何，以及解釋的類型等，來探討科學教科書如何解釋自然現象。而現有的生物教科書如何解釋演化現象？我們是否把解釋類型應用於演化論的教科書文本中，這種應用有何效果？這也是筆者本篇研究的焦點之一。

五、小結

承本節所討論的研究動機，筆者在本研究的假定是：複雜系統觀結合天擇說是對演化最佳的科學解釋，而解釋類型的認識有助於學生釐清演化的機制，因此結合兩者的教學或教科書文本，將是筆者預期中對中學生最佳的解釋，不過所謂最佳解釋對不同認知層次的高中生還是國中生都是適當的描述嗎？有待本研究實證認定。整體而言，本論文研究的理論背景，如圖 1-1-2 所示：

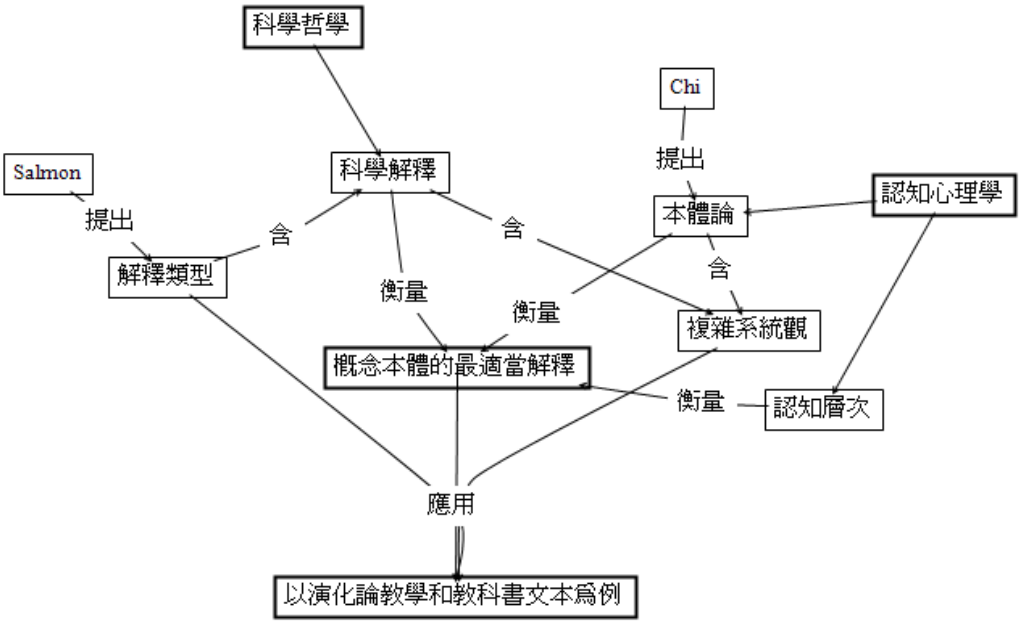


圖 1-1-2 本論文研究的理論背景

第二節　研究目的與問題

根據上述的研究動機，本論文的主要研究目的為：瞭解解釋類型和複雜系統觀，融入中學演化論教學和教科書的編寫，對學生演化論學習的影響，藉以得到啟示，提昇中學演化教學的成效。此一研究目標，又可細分成六個研究目的，及根據這些研究目的，要探討的主要及細部研究問題如下：

1、研究目的一：分析現今中學教科書描述演化論的正文內容

為了能了解現有教科書中關於演化論概念編寫的詳細狀況、也對中學生演化概念的迷思成因提供多一些參考面相、也對教科書的編寫有實質貢獻，本研究將針對現有中學教科書對於演化論概念的正文內容進行探索。針對此一研究目的的研究問題為「現行教科書對於演化論概念的描述為何？」，在此研究問題下有四個細部研究問題。

1：現行教科書對於演化論概念的描述為何？

1-1：中學教科書對於演化機制解釋的異同？

1-2：中學教科書對於演化的解釋具備哪些類型？

1-3：中學教科書對於演化論的敘述，是否偏於特定的解釋類型？

1-4：中學教科書對於演化論的敘述，是否提及複雜系統觀的要點？

2、研究目的二：以解釋類型為分析層面，探討學生演化論的另有概念

有別於許多生物教育研究者以拉馬克用進廢退說的固著，或是認知學者 Chi 等人以突現與直接因果本體的難以遷移，來解釋學生學習演化論的困難。筆者想另闢蹊徑，從解釋類型的角度來探討演化論的迷思概念。演化是一個現象，這個現象可以用現象層面的功能性解釋，也可用成分（作用體）層面的機制性解釋來說明，學生對此兩解釋的誤用，是否導致迷思概念的發生。為完成此一研究目的，有以下兩個主要問題，其中第二個問題又可分成兩個細部問題：

2-1：以解釋類型觀察演化論，可以區分成哪些層次不同的另有或科學概念？

2-2：中學生的演化論概念是否呈現出與解釋類型相關的分佈？

2-2-1：在演化測驗表現較佳的學生對於演化現象的解釋，是否偏於特定的解釋類型？

2-2-2：在演化測驗表現較不理想的學生對於演化現象的解釋，是否偏於特定的解釋類型？

3、研究目的三：以複雜系統觀為分析面，探討學生演化論的另有概念

既然最近的文獻已認為複雜系統可以彌補天擇說，對於演化現象提供較佳的解釋，因此，現有的天擇說，想必具有某些不足之處？但現有的教科書，有注意到此一面相嗎？而高中生演化迷思概念的成因，是否便來自於教科書的簡化。為

達成此一研究目的，有以下兩個研究問題：

3-1：若以複雜系統觀為軸觀之，演化論的本質為何？

3-2：中學生對於演化的解釋，是否能提及複雜系統觀的要點？

3-2-1：在演化測驗表現較佳的學生，是否已有複雜系統的觀念？

3-2-2：在演化測驗表現較不理想的學生，是否已有複雜系統的觀念？

4、研究目的四：探討中學生認識解釋類型時，對於演化論學習的影響

承研究目的二，當我們了解學生有可能會因為其本身偏好的解釋類型，而對演化論具有迷思概念時，我們可以接下去可以探討若能讓學生自筆者意識到解釋類型的類別時，對於演化論學習的影響情形。為了此一研究目的，欲探究以下的研究問題：

4-1：國中七年級學生經過解釋類型融入演化的教學後，演化概念有何變化？

4-1-1：未經過解釋類型融入演化的教學前，對於演化的解釋為何？

4-1-2：經過解釋類型融入演化的教學後，對於演化的解釋為何？

4-1-3：經過解釋類型融入演化的教學後，在演化測驗的成績上是否進步？

4-2：高一學生經過解釋類型融入演化的教學後，演化概念有何變化？

4-2-1：未經過解釋類型融入演化的教學前，對於演化的解釋為何？

4-2-2：經過解釋類型融入演化的教學後，對於演化的解釋為何？

4-2-3：經過解釋類型融入演化的教學後，在演化測驗的成績上是否進步？

4-3：國中七年級和高一學生在教學前、後的差異為何？

5、研究目的五：探討複雜系統觀融入演化教學，對於中學生演化論學習的影響

承研究目的三，如果學生的迷思概念，的確有部分來自現有教科書對於演化解釋的不足，那麼改進的方法，應是設法將複雜系統的解釋方法，融入現有教科書對於演化起因的解釋，並應了解如此真有助於演化的學習。為完成此一研究目的，有以下的研究問題需要探討：

5-1：國中七年級學生經過複雜系統觀融入演化教學後，演化概念有何變化？

5-1-1：未經過複雜系統觀融入演化教學，對於演化的解釋為何？

5-1-2：經過複雜系統觀融入演化教學後，對於演化的解釋為何？

5-1-3：經過複雜系統觀融入演化教學後，在演化測驗的成績上是否進步？

5-2：高一學生經過複雜系統觀融入演化教學後，演化概念有何變化？

5-2-1：未經過複雜系統觀融入演化教學，對於演化的解釋為何？

5-2-2：經過複雜系統觀融入演化教學後，對於演化的解釋為何？

5-2-3：經過複雜系統觀融入演化教學後，在演化測驗的成績上是否進步？

5-3：國中七年級和高一學生在教學前、後的差異為何？

6、研究目的六：探討解釋類型與複雜系統觀共同融入演化教學，對於中學生演化論學習的影響

本研究的假定在於複雜系統觀結合天擇說是對演化最佳的科學解釋，而解釋類型的認識亦有助於學生釐清演化的機制，減少拉馬克迷思固著的可能，因此結合兩者的教學或教科書文本，將是筆者預期中對中學生最佳的解釋，至於對國中或高中生何者有效？或者皆有效？有待本研究目的檢驗

6-1：國中七年級學生經過解釋類型與複雜系統觀融入演化教學後，演化概念有何變化？？

6-1-1：經過解釋類型與複雜系統觀融入演化教學後，對於演化的解釋為何？

6-1-2：經過解釋類型與複雜系統觀融入演化教學後，在演化測驗的成績上是否進步？

6-2：高一學生經過複雜系統觀融入演化教學後，演化概念有何變化？？

6-2-1：經過解釋類型與複雜系統觀融入演化教學後，對於演化的解釋為何？

6-2-2：經過解釋類型與複雜系統觀融入演化教學後，在演化測驗的成績上是否進步？

6-3：國中七年級和高一學生在教學前、後的差異為何？

第三節　名詞釋義

1、 解釋本質

綜合哲學辭典的定義，本質是事物特有的屬性，也是事物的根本性質，是使一個事物成為這個事物，而不會被認為是其他事物的東西，是一個事物必然且重要的規定特徵（Audi，1999；段德智等，2004；陳志良，2001）。在本論文的緒論和文獻探討裡，以解釋的類型、解釋的方法、應用的對象等，來探討解釋的本質。不過本論文實證研究中，所謂的解釋本質，其實不是在探討「解釋」的本質，比較精確的說法是探討「演化論解釋」的本質。本研究所謂演化論解釋的本質，便是以功能性和機制性兩種類型來討論，也以超越天擇說的複雜系統突現、多因子互動等特性來討論。筆者認為以這兩種角度來解釋演化現象，可以將演化解釋區分出不同層級，分別代表由最不了解演化到對演化做出最佳解釋。

2、 解釋類型

依文獻探討可知，解釋可以有許多類型，包括類比、擬人化等非科學但有助於理解的解釋，以及圖 2-3-1 所顯示的各種科學解釋類型。在本研究中所謂的「解釋類型融入演化教學」，融入演化論的解釋類型只有包括科學解釋中的功能性解釋與機制性解釋兩類。

3、 解釋本體

Chi 多年來研究的理論基礎：本體論，認為概念有其本體，學生心中亦有著本體，當兩者本體不同時，學生的學習就發生困難，必須經過大幅度的概念改變。本研究採用部分 Chi 的想法，結合了解釋類型，提出「解釋本體」的名詞，亦即每一種自然現象有其最佳的解釋方法或類型（在本研究中，演化現象的最佳解釋為功能性解釋，而演化機制的最佳解釋為多因子天擇機制），學生心中會偏好特定的解釋類型（在本研究中假定為功能性解釋），但功能性解釋與拉馬克的用進廢退有表面的類比關係，若不能區分出現象解釋與機制解釋的不同，則容易造成迷思概念。

4、 科學解釋

綜合各學者對解釋的定義，尤其是 Salmon 的歷年著作（詳見文獻探討），本研究所謂的科學解釋，筆者定義為「對自然現象的成因，做出合理的說明」，此定義包括三要素，一是針對自然現象，例如本論文實證研究的焦點在演化現象；二是該現象的成因，例如演化的成因；三是合理說明，例如對演化成因做出合理說明。此處所謂的合理，指的是合乎人類心中因果的推理軌跡，可以有功能性、機制性、通則性三種角度（見下述）。而常見的類比解釋，只是協助聽者了解，並非直接說明現象的成因，並不能算是科學解釋。

5、 功能性解釋（functional explanation）

所謂功能性解釋，指的是以某一現象、事件、結構的存在，造成的利益、優勢，來說明該事象、結構，得以存在的理由。Salmon（1998）在一篇名為：「慧星、花粉和夢境：科學解釋的一些反思」中，特別強調功能性解釋在科學中的地位，認為這種解釋在許多學科，例如：生物學、社會學、人類學都很常見。他引用的例子是佛洛依德的夢的解析，佛洛依德把夢的產生視作是為了填補潛意識的需求，這種解釋「夢現象出現」的方法，便是一種功能性解釋。功能性解釋在生物相關教材中常出現，諸如針對某一現象「大象耳朵為何那麼大？」其功能性解釋為「大象體型太大不易散熱，因此耳朵必須大以協助散熱」。在本研究中，採納 Salmon 的見解，將功能性解釋列為科學解釋的三種主要類型之一。

6、 通則性解釋（universal explanation）

通則性解釋又可稱為理論性解釋（theoretical explanation），Salmon（1998）另稱此一解釋為世界圖像（world picture）或宇宙觀（cosmology）。這是用一套通則定律來解釋事件，不需涉及因果傳遞，例如：用 F=ma 來解釋運動現象，或用 PV=nRT 來解釋密閉容器發生的事件。

一些哲學家和人工智慧學家都主張：要解釋一個事象，便是把他配置入一個模式或信念系統（fit it into a pattern or system of beliefs）（Thagard，1992）。例如：演繹律理模式以演繹相關把待解釋項和信念串連在一起，此信念遵循著邏輯。把基模應用到要被解釋的事項中，也是一種配置的方式，例如：解釋的重要

性常常是為了把不同的現象單純化。Kitcher（1981，引自 Thagard，1992）指出理論性解釋便包含了利用解題基模來提供現象的單一化。包括牛頓和達爾文都運用其提出的理論去解釋不同的事象。由此觀點來看，解釋不該是用演繹或統計來看待解釋的事件，而是用基模把不同的現象單一化（Thagard，1992）。在本研究中，採納 Salmon 的見解，將通則性解釋列為科學解釋的三種主要類型之一，但這種解釋類型在生物學領域中很少出現。

7、 機制性解釋（mechanical explanation）

所謂機制性解釋，指的是以某一現象、事件、結構的存在和活動，解釋另一事象、結構的存在和活動。例如解釋光合作用這個現象如何發生，這個解釋牽涉到一連串的時空因果傳遞，導致最後產生特定物質或現象，因此 Salmon 又稱這種解釋是打開黑盒子（opening black box）。在科學的許多領域，例如：地質學、分子生物學、生物化學或宇宙學，要做出令人滿意的解釋時，都需要提供一個機制的描述（Machamer，2004； Machamer *et al.*，2000； Tabery，2004）。例如：生物學中在解釋某一現象產生時，例如：身體如何排尿、蛋白質如何合成，便是以一套機制來解釋之。

沿用 Chi 的想法，機制性的解釋又可以區分成直接因果機制與突現因果機制。前者採 Machamer，Darden，＆Craver（2000）的想法，指的是某一成分進行某一活動，進而影響下一成分進行下一活動，最後導致一個現象的發生。而突

現因果機制，在本研究中，將以複雜系統觀來說明之。

8、 複雜系統觀（complex system view）

一種新興的整體論觀點，強調高層次的活動與特性，不能單純用化約角度，去由低層次成分的活動與特性來推出。複雜系統所探討的標的，其實早就是人們研究的對象，生態系和演化論的討論早在一百多年前就開始，氣象變化、股市昇降也是人們在複雜系統觀出現之前便亟於掌握住趨勢，本論文將複雜系統的探討應用在演化現象的解釋。學者認為不同的複雜系統可能或多或少分別具備以下各種特性：多層次（multiple level），上向及下向因果（upward and downward causation），突現（emergence），整體性（holistic），不可化約、不可預測，非線性（nonlinearity），多重因果，成分互動（關係）的重要性大於成分本身，動態的、不停止的，微觀層次裏有簡單的規則，無中央控制（decentralized），自我組織（self-organization）；正回饋；適應性。

複雜系統觀應用在解釋現象成因時，可稱為突現因果，在本研究的解釋類型分類中，和直接因果同屬於科學解釋中的機制性解釋，直接因果指的是可以從成分的活動與特性，推論出成分所造成的現象，而突現因果指的是無法直接從成分的活動和特性中推出整體的行為，也就是整體不等於部分之和。；

本研究中所謂的複雜系統融入演化教學，事實上只取用複雜系統的幾個特性：多因子互動（多重因果）、突現、不可預測、多層次等，同時只以機制面的

多因子互動與現象面的不可預測,作為評估學生概念層次是否具有複雜系統想法的依據。

9、 達爾文的天擇說

自達爾文提出物種原始以來,不少學者對其演化機制的想法,加以闡述及補充引伸,加上現代科學的進展,今日教科書所出現的天擇說,應已有別於達爾文,至少就遺傳的觀點來看,達爾文並未清楚交代何種性狀才能遺傳,以及遺傳的方式。但基本上,變異和選擇的觀念仍屬達爾文最重要的核心,也是現今教科書說明演化機制的重點。本文採用的定義,將達爾文天擇說的要點分成五項:個別差異、存活力不同、生殖成功率不同、部分性狀可遺傳、差異逐代累積(Ohlsson,1991)。參考此五要點,搭配現行教科書課文的描述,編定本研究的基本教材,同時以「選擇條件」的單一或多元,將天擇說區分成簡化的單因子天擇和考慮到多因子互動的多因子天擇。

10、 概念層級

本研究所謂的概念層級,指的是演化論不同程度的理解。筆者將學生對演化論的理解程度,分成三大層級,有無演化、演化的方向、演化的機制,每一大層級又依其正確程度分成若干次層級,例如第一層級「有無演化」,可分成「知道生物會演變」、「不知道生物會演變」,以此類推,可將學生對演化論的理解,由不知道演化的存在到能夠用複雜系統的角度說明演化機制,分成九大類。筆者並

以此來學習前後，演化論概念的進步程度。

11、 概念模式圖

本研究所謂的概念模式圖，指的是以筆者自創的製圖法，將學生對演化論不同程度的理解，以繪圖方式表徵出來的圖形。以此方式，可一眼看出學生對演化論的理解程度，到達何種層級，以及每一層級的正確程度，可以省略繁長的文字說明，一目了然的輕易觀察到學生在學習前後演化概念的程度及改變，在第參、肆章中，將詳細介紹概念模式圖的製作方法及編碼實例。

第四節　研究範圍及限制

茲將本研究之研究範圍與限制明確界定如下：

1、本研究於文獻探討中，從定義、類型等角度探討了解釋的本質。但在本論文的實證研究中，只從功能性解釋、機制性解釋兩種類型，以及對自然現象的最佳科學解釋，來對演化論教學加以探討。因此本研究所謂的「解釋本質」，只限定在上述的範圍，其他解釋類型或解釋的定義等，並不包括在本論文實證研究範圍內。

2、本研究主要選取台北市某一所完全中學學生進行研究，且每一操作組僅有三十多名學生，因此分析所得不宜過度推論至所有高中生或是國中生。

3、本研究所謂複雜系統融入演化的教學成效，僅限於本研究所編製的教材和教案，也僅限於演化論此一概念，且僅限於部分複雜系統特性的融入。並不代表所有複雜系統融入各種科學概念的教學，也不代表複雜系統所有特性融入教學教材，都一定會有類似的效果，甚至不宜推論至筆者之外之所有教學者，使用同一套教材，都必然有同樣的效果。

4、本研究所謂解釋類型對於迷思概念成因的探討，僅限於演化論的討論，並不代表可用於討論其他各種迷思概念的成因。

5、在本研究中所謂的「解釋類型融入演化教學」，融入演化論教學的解釋類

型，只有包括科學解釋中的功能性解釋與機制性解釋兩類。並不包括文獻中所討論的通則性解釋、擬人化、類比、、、等等的其他解釋類型。

第貳章　文獻探討

本章主要分成五節，內容大致涵蓋筆者兩年多來，為此研究進行文獻探討，所努力過的痕跡。第二節的機制是開啟本研究的濫觴，尤其是筆者為了解答自己心中對 Chi 突現因果機制的質疑（現象發生的兩類型機制）是為一切的源頭。後來為了更了解突現這種機制，得把機制放在更大的背景「解釋」，於是開啟了另外兩個領域的閱讀與探討：第一節的解釋與科學解釋，以及第四節複雜系統觀。第三節的解釋與機制的整合，僅是對機制和解釋這兩大領域作一整合性的比較。最後當思考到要把前四節的文獻探討結果結合到科學教育研究時，選定了演化論這個概念主題，於是完成了第五節演化論相關教育研究的文獻探討。以下分別介紹文獻閱讀整理出的內容，部分章節會於適當段落加入個人閱讀後的心得。

第一節　解釋與科學解釋

本節將討論科學哲學與科學教育中，對於解釋的定義與應用，並進而探討科學解釋的定義與其在科學教育上的運用。

一、解釋的定義

「解釋」一詞常見於日常生活的用語中，Scriven（1988）認為要解釋一個事

件，便是去回答有關「為什麼」之類的問題。但實則在我們的經驗裡，解釋這項行動似乎不僅出現在回答「為什麼」中，其他類型的問題也需要解釋，例如：解釋如何操作一個新的機器、解釋一個陌生的字彙，以及回答「為什麼」之類的問題（Salmon，1998）。只要提出問題，便是希望對方或自己提出一個滿意的解釋。因此，劍橋哲學字典裡（Audi，1999）指出「解釋是一種行動，藉著顯示出某種事件為何及如何發生，使得某些事情變得可理解或清晰起來。」

大多數人對解釋的定義為「講得更清楚一點」（say something more about），但如此的定義，可能會混淆「解釋」和另一相近字：「描述」（description），例如：文獻中指出科學教師在使用「解釋」、「描述」兩詞時，常有混淆或互用的情形。例如：Horwood（1988）引用 Bell 和 Peters 電學教學單元講義裡，提到的三個教學目標：

1、解釋下列名詞：extrinsic，donor，acceptor，doping…

2、描述電子在 n-type 半導體的傳導情形。

3、描述並解釋在 p-n junction 中，deletion region and junction field

在 1 中，解釋的意義相當於定義。後面的 2、3 也讓我們難以區分到底解釋和描述有何不同。另外，不僅物理科，生物學也有類似的例子。如下列兩句話：

4、解釋下列名詞：「原核生物」

5、解釋下列防止食物腐化的方法，醃魚；冷凍；加熱。

同樣的，4 中的「解釋」其實便是「定義」，而 5 的「解釋」便是真正的解釋了（Horwood，1988）。

Horwood 引用了 Bateson（1979）的說明來區別描述和解釋之不同，「描述」只是純粹的訊息，且訊息和任一相關性網路不完全連接（description is purely information and the bits of information are isolated from any network of relatedness）。而「解釋」是把一些訊息加以穿連起來（explanation is given when connections are drawn between and among pieces of information），也就是說去「解釋」某事，便是將之定位（map）到一個因果的邏輯系統中。由此定義，前例中回答「醃魚」之所以可以防止腐敗，可以算作是解釋，是因這個解釋必須參照到一個因果鏈：「某物（高濃度的鹽分）使得細菌死亡（脫水），也無法繁殖，因此有防止腐敗的效果」。

劍橋哲學字典裡（Audi，1999）指出幾乎所有事物都可成為解釋的對象，但哲學裡只注意到兩種事物的解釋：事件和人類行動。個別事件例如：橋的崩蹋，通常都要找出其起因來做解釋，這是因果解釋的一例。因果解釋回答了「why」之類的問題，常拿來和第二種解釋：回答「how」之類的問題做比較。後者回答一事件「如何」發生，只是針對導致事件發生的過程性的訊息描述，不過這種描述也會牽涉到因果過程的敘述（Audi，1999，p298）。

而 Horwood 在比較描述和解釋的差異時，則指出有時我們會用「為什麼」

和「如何」這兩類型的問題來區別「解釋」和「描述」, 例如 :「解釋為什麼加鹽巴可防止食物腐敗」以及「描述有絲分裂的過程 (有絲分裂如何進行)」。但實則這種以「為什麼」和「如何」來做的區分，只會在低年級的課程中有所差別，較高年級中所用的解釋，亦即在回答「為什麼」的問題時，常常便要包括了許多內部機制的描述，例如：在回答「植物為什麼能進行光合作用」這一問題時，在國小程度，只要回答「因為植物有葉綠體」, 但在高中階段，要對此一問題做出滿意的解釋 , 則必須涉及到「葉綠素所釋出的電子是如何在電子傳遞鏈上傳遞著」。

綜合劍橋哲學字典和 Horwood 的主張，可知 : 單純的「描述」不涉及因果，只要是解釋必涉及因果，而 why/how 兩類問題中都可能涉及到「因果」, 因此都可能是解釋。換言之，解釋可能有多種的類型，將在下一段討論之。

二、解釋的類型

就研究者所收集到的文獻中，已能發現有諸多學者探討過解釋的類型（Abrams & Southland，2001； Bogen，2005； Brandont，1997； Dagher & Cossman，1992； Hempel，1965； Horwood，1988； Kitcher & Salmon，1989； Salmon , 1984 ; 1989a ; 1989b , 1998； Scriven , 1988； Sterelny & Griffiths , 1999； Talanquer , 2007； Thagard , 1992 ; 1999； Unsworth , 2001； Zohar & Ginossar，1998）。在諸多學者中，Wesley C. Salmon 被公認是現今對解釋做的探討最完整的學者(Godfrey-Smith , 2003； Thagard , 1992)，他有多篇著作探討解釋(Salmon ,

1984 ; 1989a ; 1989b , 1998), 其中 1989 年的 Four Decades of Scientific Explanation 被認為截至目前為止，最佳的回顧性長篇論文之一（陳思廷，2005)。在他這本著作裡，整理了過去二十年的想法，並以不同分類取向，為解釋做出幾種不同類型。底下首先來探討 Salmon 所區分出來的解釋類型，依解釋的目的 :「讓對方理解」來區分。再以解釋這種行動所因應的問題類型，做為分類依據，區分出三大類的解釋：回答「how」、「what」、「why」問題時提出的解釋。除了 Salmon 外，也將整理其他學者或書籍如劍橋哲學辭典 Thagard 和 Dagher 等人分別在心理學和科學教育領域，所提出的關於解釋類型的想法。

（一） 依解釋的目的 :「讓對方理解」來區分

Hempel（1965，p425）指出，要為某人解釋某事象，就是讓某人覺得該事象較為清楚且可理解，也就是使某人能夠瞭解該事象。因此，我們可以說解釋的目的便是讓對方理解（包括自我解釋時，使自己理解)。Salmon 也從解釋的預期成果 :「讓對方理解」的角度，一窺解釋的意義。Salmon 認為理解有四個角度：移情作用的（empathic)、符號的（symbolic)、目標導向的（goal-oriented)、以及科學的（scientific)。

所謂移情作用的理解，指的是感覺的同理分享，也就是「同理心」，如安慰遭遇不幸的人時，我們會說「我瞭解」，這種理解釋基於情緒因子、感覺、價值等。而且它的效應很大，影響的心理層面很廣，人們都可望得到這種理解。

符號的理解是一種與語言相關的理解形式，強調溝通和意義，又稱為「意義」的理解。不過，符號不全然是語言，也可能是圖騰或建築物、藝術品、肢體動作，只要能溝通意義者即屬之。人的行為因為帶有意義，也就是有著目的和傾向，所以沒辦法用科學解釋來瞭解之，要理解之必須做出詮釋，因此也是一個獨特的理解形式。

目標導向的理解，是種可藉著某物的目的、目標，來理解某物的一種理解形式。又可以分成兩種次類型，一是帶有意識，稱為目的論解釋（teleological explanation，Salmon 另把它稱為超自然的）也就是利用有意識的動機和目標來理解之，例如：帶著充足的水到沙漠去旅行，這是有意識的行動，是為了避免渴死，人類的行為常屬於此。創造論者描述生物的演化是上帝的意旨，也是屬於這一類。另一種類型，屬於非意識性，稱為功能性解釋（functional explanation，Salmon 另稱之為自然的），這種解釋在生物和社會科學常見，特別對演化生物學很重要，例如：為何松樹林中的蛾體色偏黑而非偏白，演化學裡可以說，因為為了適應松樹林的深色樹皮。不過，蛾本身是沒有意識到深色身體較易存活。因為對功能的自然性因果詮釋，可以讓我們接受功能性解釋也是一種科學解釋。

科學的理解，必須奠基在已建立好的科學理論和事實，而不管心理上是否滿足或舒適。就像是有色染料在水中的擴散現象，科學解釋是要以染料分子的布朗（隨機）運動來解釋，而不是用染料分子有目標式地往濃度低處活動，雖然後者的解釋較能有視覺和心理的滿足。

但同樣是科學解釋，Salmon 認為又可以分成兩類，兩者的主要差異，在於是否涉及因果，第一種是可以不涉及因果的理論性解釋（theoretical explanation，Salmon 又稱為 unification 或是 world picture）例如：PV=nRT，這個式子裡，P、V 之間只有統計上的相關，並無因果相關，但可解釋密閉容器內的氣體現象，這種解釋屬之。第二種牽涉到因果，或說是機制（causal ，mechanical），例如：蛋白質的合成機制，這個解釋牽涉到一連串的時空因果傳遞，最後生成特定物質或現象。Salmon 稱這類的解釋是打開黑盒子（opening black box）。不過這兩類解釋其實是相容互補的，也就是同一種現象可以同時用兩種方式來解釋。以蛾體色的演化為例，若只談到天擇、突變、性狀遺傳，則屬於大尺度的理論性解釋，而考量個別蛾的出生、死亡、生殖率，則屬於因果機制的解釋。

圖 2-1-1 整理了前文所討論的以理解的角度，所分類出來的解釋類型，Salmon 原在目的分類下之自然分類下之說明，用的是「動物」，但其實也可針對植物做出功能論解釋，因此筆者將之改為「生物」。加粗框者，為 Salmon 在本分類中所定義的科學解釋。「生物」框，應是指 Salmon 在其他文獻中所明確認定的科學解釋第三種類型：功能性解釋。

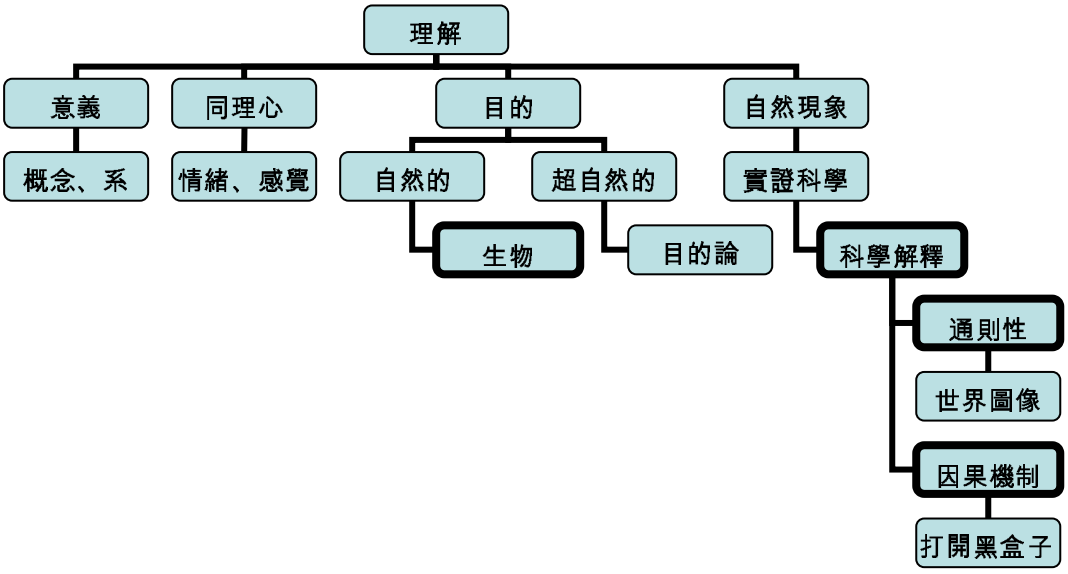


圖 2-1-1 Salmon（1998）以理解（解釋的目的或價值）的角度看解釋

（二） 依解答的問題類型來區分

解釋的出現，通常是為了因應自己或他人提出的問題，Scriven（1988）認為要解釋一個事象，便是去回答有關「為什麼」之類的問題，任何對一個「為什麼」問題的適當答案，都可以算是解釋。但實則在我們的日常生活經驗裡，解釋這項行動似乎不僅出現在回答「為什麼」中，其他類的問題也可能出現。Salmon 便根據問題類型區分出三大類的解釋：回答「how」問題時提出的解釋，回答「what」問題時提出的解釋，回答「why」問題時提出的解釋（如圖 2-1-2）。當涉及如何完成一特定活動時，便需要因應「how」問題的解釋；當尋求意義時，例如：一首詩、一單字、一幅圖的意義時，便需要因應「what」問題的解釋；當涉及某事為何發生時，便需要因應「why」問題的解釋。

在科學的領域中，都有這三類解釋，例如：解釋如何操作一具新儀器（how），找出某一技術名詞的意義（what），解答為何有潮汐現象（why）。Why 的問題又可分成三類型，第一類型涉及道德判斷和心理安慰者，屬於「為什麼應該」（why should）的問題，這類問題又有兩種不同的解釋需求：如「為什麼職場男性的薪水要比女性高」，這個問題涉及道德判斷，不會有客觀正確的答案；另如傷心的主人問及「為何我的狗會老死而離開我」時，他們要的通常不是解釋，而是安慰及同理心。第二類型的為什麼問題，涉及到意識和非意識目的，所謂意識目的指的是有一個明確目標和終點，例如：「演化」的前達爾文意義，指的是原本就存在於生物體的完美導向；或是每個物種的出現都是來自上帝有意義的創造（創造論）。涉及於動機的解釋，也是有意識的，例如：某人帶著水去沙漠，若問他為何要帶水，他會回答：「因為我要去缺水的沙漠」。

Salmon 指出當一個解釋參照到目標、動機、終點時，便是一種目的論的解釋。在科學史上，曾經出現許多目的論的解釋，例如：前面提到的創造論、亞里斯多德的物理學等。而科學的進步有一部分便是在淘汰這類目的論解釋，例如：牛頓力學取代亞里斯多德、達爾文天擇說取代創造論。但當代生物學裡仍有許多非意識目的之「功能性」解釋，在演化和生理學上都常出現。第三類型（why does）要求的是根據事實的訊息（factual information），這類解釋包括通則性和機制性，有高度的實用價值，例如：解釋出飛機墜毀的原因，將有助於避免下次發生類似的災難。

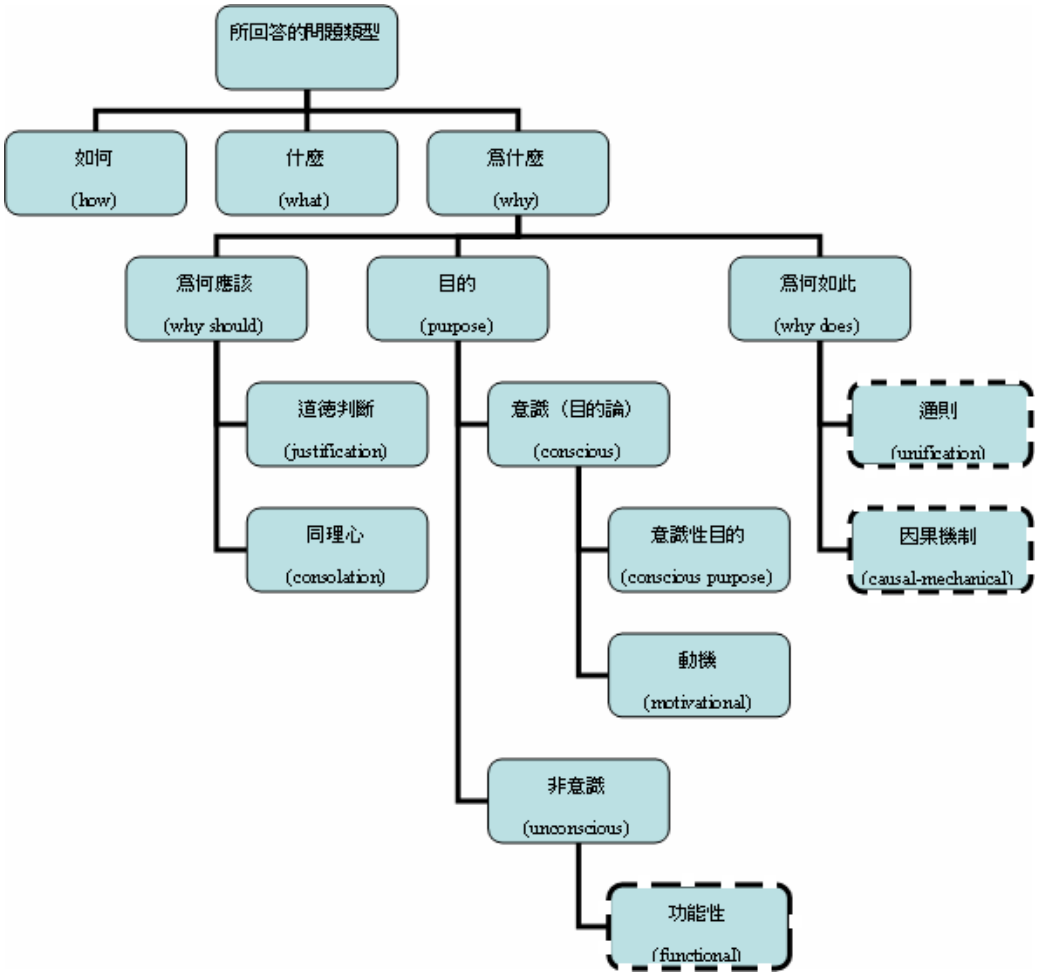


圖 2-1-2 依問題的類型所分類出的解釋類型

（三） 劍橋哲學辭典的分類

劍橋哲學辭典裡認為解釋有以下幾種：演繹解釋（deductive explanation）、統計解釋（statistical explanation）、目的式解釋（teleological explanation）、突現式解釋（emergent explanation）及化約式解釋（reductive explanation）。在演繹解釋這類解釋類型中，以 Hempel 提出的演繹律理模式（deductive-nomological model）最具影響力。統計解釋則以統計或機率的角度看因果關係，以彌補演繹解釋的侷限性，因為日常生活或許多自然現象並不能完全用演繹解釋來解決。目

的式解釋則常在生物學常見，例如：以器官的功能來回應某器官為何存在的問題。這三種解釋將於底下段落再予以詳加探討。突現式解釋及化約式解釋則是在詮釋因果關係時會出現，兩種解釋正好相對立，前者指的是系統內較複雜情境的法則(或稱整體 wholes)，是不可以用較簡單情境或最簡單情境(或稱部分，parts)的法則來化約，後者則反之，認為系統內較複雜情境的法則可以用較簡單情境或最簡單情境的法則來化約。

（四） Thagard 的分類

Thagard（1992）認為幾十年來，解釋一直都是科學哲學的中心議題，他本身關心人工智慧的研究，但認為解釋的概念對人工智慧的研究非常重要，因此他也對解釋的本質加以探討。他認為哲學和人工智慧對於解釋本質，大致上都有以下六大種類：演繹（deductive），統計（statistical），基模（schematic），類比（analogical），因果（causal），語言與實用（linguistic and pragmatic）。這六項其中的前兩項：演繹和統計，屬於源自科學哲學邏輯實證學派 Hempel 的傳統，包括 Salmon 或其他學者所做的修訂，一般稱為科學解釋（或是林正弘教授稱呼的科學說明）。因此在討論演繹和統計兩類型解釋時，將主要採納 Salmon、Hempel 或林正弘教授的對此兩型解釋的說明。後四項解釋才以 Thagard 的說明為主。

1、 演繹的解釋

多年來對於解釋最有影響力的觀點是 Hempel 所提出的演繹律理模型

（deductive-nomological model，以下簡稱 D-N model，Salmon 則指此模型由 Hempel 和 Oppenheim 所共同提出，不過即使 Salmon 也常忽略不提 Oppenheim，而直指 Hempelian model）（Salmon，1984，1989a，1989b，1998； Thagard，1992； 林正弘，1991）。Hempel 認為解釋是一種演繹的論證，在此論證裡，包括前提和結論。前提內必須至少有一個普遍定律（general law），解釋這項工作，便是把要被解釋的事實含攝到這個定律裏。所以此模型也可被稱為是涵蓋律模式（covering law model）。以下舉一個例子（林正弘，1991）：假設有個人問「為什麼某一玩具丟到水裏，會浮起來」。回答此問題的 D-N model 可以寫成

（1-1）任何物體放在任何液體中，若物體的重量少於同體積液體的重量，則物體會浮出液面。

（1-2）某玩具被丟到池中。

（1-3）池中的液體是水。

（1-4）玩具的重量比同體積水的重量為輕。

（1-5）玩具浮起來。

此一解釋包含四個前提（1-1~1-4），1-1 是自然法則的敘述，也就是一個普遍定律（general law）。1-2~1-4 是該解釋的先行條件（initial condition），這些前提共組成解釋項（explanans），也就是進行解釋動作的事物。1-5 為結論，也就是待解釋項（explanandum），被解釋的敘述。

D-N model 受到廣泛的注意和討論，因為它呈現出清晰和力量（Salmon，1998，p337）。Thagard 亦指出演繹解釋在物理學常見，例如：天文學家要解釋日蝕時，他們會利用運動定律和有關太陽、月亮、地球的位置當作前提，演繹出結論出來。我們要說明的事件或現象（以下簡稱事象）可由所列出的普遍定律及先行條件所推論出來。列出普遍定律及先行條件來輸贏某一事項之所以發生的源由，亦即以這些普遍定律和先行條件為前提，導出「該事象會發生」的結論（林正弘，1991，p42）。也就是說，演繹解釋通常也顯示出預測，也就是如果你能解釋某事，那你便能預測它的發生（Thagard，1992）。這也是 Salmon 所指出的解釋—預測對稱性（explanation—prediction symmetry thesis）（Salmon，1998）。

但許多哲學家認為這種類型的解釋既非必要而不充分，因為例如：演化生物學領域內的解釋，並未有清晰的定律，且缺乏演繹。我們可以為人類之所以有大腦做出解釋，但我們所知有限，無法做出演繹也無法預測出演化後的未來景象，所以 D-N model 並非解釋的必要成分。另外，D-N model 也不充分，我們可以從旗竿長度、三角學、光學原理等定律和先行條件，來解釋出旗影的長度，卻不能由旗影的長度為旗竿長度做出解釋（Salmon，1998； Thagard，1992）。換句話說，旗影是旗竿與日光照射所互動的結果，而旗竿卻不是旗影所造成的（Godfrey-Smith，2003，p197）。

即使是 Hempel 和 Oppenheim 本人，也明白宣稱並非所有科學解釋，都適用演繹模式，必須要另有統計或歸納的模式來輔佐，所以 Hempel 後來也提出了 I-S

model（Salmon，1998，p335）。

2、 統計的解釋

（1） 歸納統計（I-S model）

Hempel 一開始即注意到並非所有的科學解釋是 D-N model，有些屬於機率或統計性的，因此他提出了另一種解釋模型：歸納統計模型（inductive-statistical model，以下簡稱 I-S model）。相較於 D-N model 是利用通則定律來含攝特定事實；I-S model 藉著利用統計性定律來含攝特定事實，因此解釋了該事實。可舉一個 I-S model 的例子如下（Salmon，1998），欲解釋的事象為「為何約翰在接受盤尼西林治療之後，他的身體就康復了」：

（2-1-1）幾乎所有肺炎病患，在施予盤尼西林之後，便會很快痊癒。

（2-1-2）約翰感染肺炎。

（2-1-3）約翰接受盤尼西林的治療。

（2-1-4）約翰很快的康復了。

此一解釋同樣包含三個前提（2-1-1~2-1-3），2-1-1 並非恆真的定律，只是統計上成立（具有高機率性）的統計定律，2-1-2 和 2-1-3 是該解釋的先行條件（initial condition），2-1-4 則為結論。

因此歸納統計性解釋和演繹性解釋，有兩個重要的差異，一是統計解釋是由

歸納而得，而演繹解釋是由演繹而得；二是歸納統計解釋是將特定事實含攝到統計定律裏，演繹解釋是將之含攝到普遍定律裏（Salmon，1998），也就是演繹解釋使用的定律皆為全稱語句，而歸納統計解釋使用的定律皆為統計語句（林正弘，1991）。兩者的相同點有二：兩者都是把特定事件或現象含攝到更高的通則，所以都可稱是涵蓋律模式（林正弘，1991）。另外，Hempel 的這兩種解釋模型，都有著解釋預測對稱性，也就是解釋相當於預測（Salmon，1998）。

無論是 D-N model 或是 I-S model，這兩種涵蓋論模式提出後，便引起熱烈的討論和辯難，有人加以辯護，有人反對或提出修正意見（林正弘，1991）。反對意見如前一段所提出的 D-N model 既不必要也不充分之外，修正意見如 Salmon 提出其他的模式。不過，不管贊成或反對，學者皆稱 Hempel 和 Oppenheim 的著作「解釋邏輯的研究」，可算是科學解釋討論的史前與歷史時代的分野（Salmon，1998）。

（2） 統計相關（S-R model）

Salmon 不認為被解釋的便是被預測的，他認為描述一個事件的解釋本質上便是描述一個事件發生時，與該事件有統計相關的因子（Thagard，1992）。Salmon 認為要用統計相關性來取代 I-S model 的高機率性，做為統計性解釋的關鍵概念。他指出高機率並不足以支持正確的解釋，例如：下例（Salmon，1998）：

（2-2-1）大多數罹患精神疾病 A 的人，經過心理治療後，會感覺症狀減輕。

（2-2-2）約翰罹患精神疾病 A，並接受心理治療。

（2-2-3）約翰感受到症狀減輕。

依 Hempel 的 I-S model , 2-2-1 是統計法則 , 2-2-2 是先行條件 , 兩者是前提，2-2-3 則是一個有效的結論。Salmon 則指出即使 2-2-1 的機率很高，但仍須考量其他因素，例如：或許該疾病不藥而癒的比率也很高，許多得到該病的人，不需治療也會漸漸復原。不論該療法的成功率有多高，只要自行痊癒者的比率更高，上述的論證便是錯誤的，換句話說，2-2-1, 2-2-2, 2-2-3 都發生了，但 2-2-3 的發生，並不能由 2-2-1 和 2-2-2 這兩個前提來解釋，而是受其他因素：「不用治療也會慢慢復原」的影響。

Salmon 認為 Hempel 的模式 , 基本上是站在決定論（determinism）的立場，也就是自然界的所有事實 , 都可用完全的用演繹解釋 , 只要我們的知識量足夠。也就是說，I-S model 根本是 D-N model 的前身，如果知識量不足，才會做出 I-S model，換言之，如果知識量足夠，就不會再有 I-S model，而只有 D-N model。而 Salmon 受現代物理量子力學的影響，認為自己屬於非決定論者（indeterminist）。因此他提出另一種統計式解釋：統計相關模型（statistical-relevance model，以下簡稱 S-R model），這種解釋類型屬於統計相關，不用訴諸於因果相關，也就是基於非決定論，把事件做統計式解釋。

S-R model 是把所有相關於要被解釋事件的因子統統納入，但不含不相關因

子。例如：要解釋一個名叫技安的青少年為何有犯罪行為，我們可以把所有相關因子，如性別、家庭社經地位、宗教背景、居住環境等等都納入考量，但不可把生日、身份證字號是奇數或偶數等納入，因為後者與其犯罪行為沒有統計上的相關。由於 S-R model 僅是一些具有適當機率值因子的集合，因此它並非任何形式的論證，不論是演繹式或歸納式。要接受 S-R model，必須放棄 Salmon 所謂的實證論第三大教條：任何有效的科學解釋都必須是一個論證。早先 Salmon 認為統計相關比高機率性對於解釋更有意義，不過 Salmon 最後也承認，S-R model 雖然對於科學解釋很重要，但它的貢獻在於提供因果相關一個重要證據，真正對解釋重要的成分還是因果（Salmon，1998）。

3、 解釋視為基模的應用

演繹和統計都屬於形式分析，也有其他非形式分析的解釋類型。一些哲學家和人工智慧學家都主張：要解釋一個事象，便是把他配置入一個模式或信念系統（fit it into a pattern or system of beliefs）（Thagard，1992 ，p122）。例如：D-N model 以演繹相關把待解釋項和信念串連在一起，此信念遵循著邏輯。把基模應用到要被解釋的事項中，也是一種配置的方式。例如：解釋的重要性常常是為了把不同的現象單純化，而 Kitcher（1981，引自 Thagard，1992）指出理論性解釋便包含了利用解題基模來提供現象的單一化。包括牛頓和達爾文都運用其提出的理論去解釋不同的事象。由此觀點來看，解釋不該是用演繹或統計來看待解釋的

事件，而是利用基模來把不同的現象單一化（Thagard，1992）。

這種視解釋為利用基模（可稱為理論、定律）把不同現象單一化的方式，其實應該便是後文將提到的三種化約之一：理論化約。把不同現象整合（含攝）到一個定律裡，依此概念，科學的目標應是要發展定律系統或通則，科學的發展便是找出一新的定律來把之前看似不相干的數個定律或是現象加以統合（化約）。理論化約是科學進步的一種表徵，而 Thagard 則認定一種解釋類型，便是化約完成的一種理論。Thagard 另外從認知心理學和人工智慧的角度，來看解釋是一種基模應用的觀點。例如：認知心理學裏有劇本（script）這個概念，它相當於基模，解釋事件時，便是運用適當的劇本到事件中。例如：「為何某人離開餐廳時會給豐厚小費」，這可把訂位、就座、點菜、用餐、付帳的餐廳劇本應用來解釋。明顯的，這不同於演繹或統計的解釋，而是把待解釋項用配置到典型餐廳行為這個基模。Thagard 也認為雖然基模運用的解釋模型仍也許多待改善之處，但科學和日常生活中，有許多解釋是訴諸於此觀點，因此我們不該區分這種解釋類型和演繹、統計解釋孰優孰劣，而是要承認這些不同的解釋類型確實並存（Thagard，1992）。Thagard（1999）曾以解釋基模，探討醫學史上對於疾病起因解釋的演變，將在之後的段落中詳加說明。

4、 解釋是類比的

日常生活中人們經常使用類比來解釋事件，教學現場中，教師也常使用「好

比說」、「就像是」這類類比開頭語，來協助學生瞭解，科學教育研究中更有許多類比教學策略成效利弊研究，不勝枚舉。即使在科學著作中，也有許多類比式的解釋，例如：達爾文用人擇來類比天擇，Dolnick（1989，Thagard，1992）在談到：「貓熊為何即使消化和生殖系統不佳，仍能夠存活數百萬年？」他引用類比：「就像是電視機，不需要很完美，只要比競爭者好即可」來解釋「演化物成功之道，只是要比競爭者好一些，不一定要是最好的」Campbell（1957，Thagard，1992）甚至指出「類比並非僅是有助於理論的建立，類比絕對是理論的必要成分，倘若沒有類比，理論就完全沒有價值，也不需要命名。」Thagard 認為雖然 Campbell 高估了類比的作用，誇大了類比解釋的通則性，但他的確看到了類比在科學解釋的重要性，在解釋時，欲使陌生的事象和熟悉的事象相關連，非類比莫屬（Thagard，1992）。

Hempel（1965，p438）引用 Duhem 的想法，也指出類比在物理研究十分重要，類比可行，是因為具有律理同形性（nomic isomorphism），他舉的例子是：Ohm 曾把熱傳導的法則遷移至電流傳導上，兩不同類且不相似的現象，有著相同的算術形式。

5、 視解釋為因果的

Salmon（Salmon，1984，1989a，1989b，1998）指出科學哲學界對於科學解釋有兩大傳統，兩大傳統的一個主要差別，便是有無把因果視為解釋的重要成

分。第一個傳統便是上述的由 Hempel 等邏輯實證論者提出的涵蓋論，他們基本上否定解釋內要談到因果（Salmon，1984，1989b，1998； Thagard，1992），在 D-N model 和 I-S Model 裏必備的定律，不一定是因果定律，涵蓋律裏並不需要因果，做為解釋的必備成分（Salmon，1998，p336），也就是說，他們不認為因果在科學解釋上扮演重要角色。

第二個傳統是首先由 Scriven 所提出的，認為因果和解釋有強烈的關係，簡而言之，解釋一個事象，便是在找出其起因。Salmon（Salmon，1984，1998）認同此想法，指出「要解釋一個事件，便是要展示出如何使該事件配置到這個世界的因果結構（explain an event is to show how it fits into the causal structure of the world）」。Miller（1987，引自 Thagard，1992）則指「解釋應是針對內部原因（underlying causes）的一個適當描述。」Hausman（1982，引自 Thagard，1992）和（Salmon，1998）主張解釋具有不對稱性，例如：旗竿長度可以解釋旗影長度，但反之不亦然，因此應該以因果關係來理解之。

把解釋視為因果，這個取向最大的困難是，缺乏對「因果」的適當分析，因果的探討在哲學由來已久，但未達一定共識，因此需要進一步的努力（Salmon，1998）。

另外，關於解釋被視為與因果有關與否的兩大傳統，最後被 Salmon 整合成兩大類科學解釋：通則性解釋與因果機制解釋，將於底下談到科學解釋時，再行

探討。

6、 解釋的語言和情境面相

另有比較少被討論到的解釋說法，一是 Achinstein（ 1988 ）和 Thagard（ 1992 ），從語言學的角度觀之，認為「解釋」這個動詞在英文是很特殊的，例如：'John was running'，無論約翰跑多久，他跑步這件事確實發生過。但如'The doctor was explaining Bill's stomach ache'，則醫生未必真的完整做了解釋這件事，可能他的行動在完成之前，就被打斷了。Achinstein 認為大多數解釋的理論都不是在看解釋這個行動本身，而是在看這些行動的產物，這些理論所做的宣告，都是在這些產品的本質地位（ontological status），而「解釋」的本體（entity）到底為何？一般的觀點，都是把解釋視為句子、命題或是論證。但 Achinstein 不以為然，他認為「解釋是一種發語詞內的行動（illocutionary act），也就是說，解釋就像是『承諾』或『警告』等，是一種意圖產生特定效果的演說行動」。也就是把解釋視為一種語言行動。但他不認為解釋必然要產生什麼效果，也就是「解釋」並非 perlocutionary acts，後者是一種能啟發別人、讓別人瞭解、或移除別人之疑惑，也就是對別人的信念或想法造成衝擊。

Van Fraassen（1988）則指解釋與情境相依（context-dependent），「解釋可視為問題的答案」，「只有在要載明一個特定主題，且同時有其它另有解釋存在，在這個情境中，才有解釋的需求。」例如：「為什麼約翰打電話給瑪利？」和「為

什麼約翰打電話給**瑪利**？」甚至「為什麼約翰**打電話**給瑪利？」，因應語調重音位置的不同，所給的答案（解釋）都會是不同的。

Von Fraassen（1988）明白指出，他所提的是解釋的新理論，不把解釋視為一個命題或是論證或是一串命題，而是把解釋視為答案。他做了一個類比：一個兒子不等於一個男人，因為即使所有的兒子（命題、論證、一串命題）都是男人（解釋），但並非所有的男人都是兒子。一個解釋是對「為什麼」這種問題的答案，所以一個解釋理論，必定是一個「為什麼」問題的理論。

Thagard（1992）認為 Achinstein 和 Van Fraassen 兩人指出了，解釋被使用的重要特徵，但無礙於我們把解釋視為演繹、統計、因果等等不同本質的理解方式。而他認為該兩人提出的情境和應用面相，對於理解科學理論的進步（或概念革命），相對重要性較小。

三、教學使用的解釋類型

前文所討論的各種解釋類型，不管其採用的解釋取向為何？其解釋的正確性並未受到質疑。但要向某人解釋一現象，不光只是看所使用的理論是否合宜或是否貼近因果關係，也要考慮聽者的能力，因為解釋是與情境相依的（Von Fraassen，1988； Wong，1996）。因此，以促進學生理解為第一考量的教師，所使用的解釋類型，會超越前文所討論的範圍。科教領域裡，包括 Horwood、Treagust、Dagher、Veel 等多人都曾討論過在教室可能出現的解釋類型，以下將

整理之。

（一）研究用解釋與教學用解釋

Horwood（1988）引用 Bateson 的定義，指出有一種解釋，雖然解釋力很強，但其實沒有真正做到解釋，例如：問題：「貝多芬為何在音樂表現卓越」，回答：「因為他具有音樂的心靈」，這個解釋雖是空的，有著邏輯的錯誤，但給了提問者滿足，Horwood 稱這種解釋為安慰劑解釋（dormitive explanations）。他特別指出在生物課本談到 ATP 時，便會出現這種安慰劑解釋。通常生物課本談到 ATP 放出能量，是因其高能磷酸鍵斷裂變成 ADP + Pi 時，這個解釋普遍出現在課本在教師口語中，似乎能滿足學生，但實則有誤，因為化學鍵的斷裂都需要能量，化學鍵生成才會釋出能量，所以單指高能磷酸鍵斷裂並不足以說明為何 ATP 能放出能量，應該是把水的角色納入：

$ATP+H_2O \rightarrow ADP+Pi+$能量

ATP 水解後的產物比起反應物 ATP 和水，有較低的位能，因此有能量是放出來。所以單用 ATP 的高能磷酸鍵斷裂來解釋 ATP 能釋出能量，便是一種安慰劑解釋。

由這點引伸出來，到底什麼樣的解釋才算是好解釋呢？Horwood 引用 Martin（1970）指出首先解釋應該分成兩種，一種用於研究活動，一種用於教育活動。如表 2-1-1，在這研究活動中的解釋裡，解釋只注意在說明事象，目標在尋求真

理，找出新知識和新發現。而在教育活動裡，解釋的目標則是促進生手的理解，兩者判斷成功的方式也很不同，研究活動的解釋要能找出事件真正起因，並做出理性說明；而教育活動的解釋裡，必須考量接受解釋者的理解，他們聽得懂才算成功。

表 2-1-1 Horwood 所訂出的兩種解釋

解釋類型	定義	場域	目的	方式	對象	成功的判定
研究用	解釋一事	研究工作	尋求真理，找出新知識和新發現	邏輯推理	無	不需考慮聽眾，只要能符合真理
教育用	解釋一事給某人	科學教室和科學學習場合如博物館	促進生手的理解	各種方式	學生或生手	不一定要符合真實狀況，只要能滿足學生

不過 Horwood 也引用 Weaver（1958）的想法，指出雖然教育用解釋不一定需要符合真實狀況，但有兩個條件：一是要能讓學生得到頓悟或越來越貼近正確的理解，二是解釋的不精確或簡化不應該干擾到學生未來的學習。在此條件下，前述 ATP 高能磷酸鍵斷裂放出能量的解釋，有可能使得學生對於化學鍵的想法

產生迷思概念，因此這個解釋雖然能滿足學生，但也不能算是好解釋。

（二） 科學教師所使用的解釋類型

承 Horwood 所點出的：教育用解釋不同於研究用解釋，因為要滿足學生的需求。因此教室裡頭，教師在解釋一事象時，會使用特殊的解釋類型，一些學者在教室內的觀察或教科書的研究中，亦發現有些解釋因為有促進理解的功效，而為教師們所習於採用（Dagher & Cossman，1992； Talanquer，2007； Treagust & Harrison，2000； Treagust & Mamiala，2003）。例如：Dagher & Cossman（1992）研究教師在課堂上所使用的文字類解釋，將其做出如表 2-1-2 的分類：虛無的、實用的、形上學、擬人化、類比、機制式、功能、目的論、理性的、基因性。虛無解釋指的是把問題重新架構敘述出來，並未添加任何新的資訊，也就是有解釋等於沒解釋。實用解釋則涉及教導如何去進行一個物理或心智操作，如儀器的操作、實驗的步驟。形上學的解釋則是把現象的起因，訴諸於上帝或天意等超自然作用體。擬人化解釋把人類的特性，尤其是情緒、慾望、傾向套用在非人類的作用體上。類比解釋則如同前文所提，以學生熟悉之情境，來解釋要被解釋的現象。機制式解釋給出因果相關，這相關可能包括在：明示或暗示出科學定律的簡短相關性敘述；或在一個發展良好的解釋架構。功能性解釋則是依據直接得到的好處來解釋一現象。目的論解釋則是鎖定在有一個終極結果，事象的存在或所作所為都是為了達到這一終極結果。理性解釋則是訴諸證據或保證來支持一特定宣告，

以迫使他人接受此一宣告。基因性解釋則藉著先前事件序列的進行，解釋一個現象的發生。

同樣的 Treagust & Harrison（2000）注意到情境的重要性，他們指出科學教室裡頭的解釋，並非科學解釋，而是一種獨特形式的解釋，整合了科學知識與教育知識，即科學內容知識與教育內容知識（scientific content knowledge and pedagogical content knowledge）。他們區分出科學解釋與科學教學解釋的不同，前者是以理論和證據為導向，使用正確的科學術語，也會包含類比的模型在內。科學教學解釋則是要考量學生的興趣、先備知識、課程的層級和科學內容等等，因此會包含創意性比喻、類比、模型，甚至會用擬人化和目的論來表達。他們也區分出十八種的解釋類型（或特性），如表 2-1-3，他們將解釋類型分成三大類：科學內容解釋、有效的教育內容解釋（科學教學解釋）、日常解釋。每一大類解釋各含六小項類型或特性，但該文中並未對這些特性或類型加以明確定義。

縱上所述，科學教室裡頭的解釋，需考量比純科學更多的因子才能做出適當解釋。Treagust & Harrison（2000）亦明確指出有內容、學生、情境、教師自身等因子會影響教師所做出的解釋。內容因子包括概念本身的重要性為何及其本質，有否另有概念等；學生因子包括學生的年齡、能力、學習態度、其他領域的知識、文化、語文能力、學習風格等；情境因子包括學校、課程的型態、要求（考試否）、時間限制和可得資源、父母和社會的期許；教師因子則包括教師的科學本質觀、教育專業、相關或不相關的知識、理性偏好、學科專業、解釋型態、美

學偏好、教育-控制兩難等。由於要考量的因子甚多，因此本質上反科學的擬人化和目的論解釋，會出現在科學教室解釋中，這也是其和科學解釋的一大差別。教師使用擬人化解釋是因學生不知正確的科學術語，這類反科學的解釋可以讓學生對科目有感覺，讓學生先有質性的理解之後，較易發展出數學概念。使用目的論則可避免處理困難的概念，因此目的論和擬人化看似不理性，但有效且有趣能引發學習動力。

表 2-1-2　Dagher & Cossman（1992）對教師在課堂上文字解釋的分類

解釋類型	定義	例子
虛無的 tautological	把問題重新架構敘述出來，並未添加任何新的資訊。	問題：染色體為何能配對？ 解釋：染色體因為是一對的，所以他們能配對。
實用的 Practical	涉及教導如何去進行一個物理或心智操作。	問題：顯微鏡如何使用？ 解釋：首先…然後…
形上學 metaphysical	把現象的起因，訴諸於超自然作用體。	問題：為何人的精子和獅子的卵子不能結合？ 解釋：我想這就是上帝的安排。
擬人化 Anthropo -morphic	把人類的特性套用在非人類的作用體上。	問題：為何水往低處流？ 解釋：因為水想要往這個方向動。
類比 Analogical；	以學生熟悉之情境，來解釋要被解釋的現象。假定類比的情境和真實的現象之間，存在著符應關係。	問題：脊髓的結構。 解釋：就好像電話線或電線，社區的管路系統內，有許多個線路，每一條線分別連至一住戶。就像脊髓裡頭，有許多個別的神經。
機制式 mechanical	給出因果相關。這相關可	因為依據這理論、模型、解釋（解

	能包括在：明示或暗示出科學定律的簡短相關性敘述；或在一個發展良好的解釋架構。	釋)，粒子動得越來越快，便更快更容易得到某一空間，而後粒子再也不能更快的移動了（問題）。
功能 functional	依據直接得到的好處來解釋一現象。	問題：為何長頸鹿有長脖子。 解釋：因為長脖子有助於吃到高處的樹葉。
目的論 teleological	用一個結果，配合系統中其他現象的協同作用，對一終極結果的達成，提供更高的可能性。	問題：為何石頭會往下落 解釋：因為其回到原本應該存在的位置
理性的 rational	提供證據或保證來支持一特定宣告，以迫使他人接受此一宣告。	問題：獵豹是否為一個優勢動物？ 解釋：從獵豹奔跑速度天下第一可以證明。
基因性 genetic	藉著先前事件序列的進行，解釋一個現象的發生。	問題：蛋白質如何製造出來。 解釋：DNA 轉錄出 RNA，RNA 再轉譯出蛋白質。

表 2-1-3　Treagust & Harrison（2000）所指科學教室中出現的解釋類型

解釋分類或特性	科學內容解釋	演繹律理 （deductive-nomological）
		演繹統計 （deductive-statistical）
		歸納統計 （inductive-statistical）
		完整或無所不包的 （complete or comprehensive）
		因果 （causal）
		實證 （empirical）
	有效的教育內容解釋	人類行動 （human action）
		擬人化 （anthropomorphism）
		目的論 （teleology）
		類比 （analogy）
		比喻 （metaphor）
		簡潔描述 （vignettes）
	日常解釋	模糊不完整的 （vague/incomplete）
		常民理論導向 （folk theory-driven）
		直覺的 （intuitive）
		有特性的 （idiosyncratic）
		虛無 （tautology）

軼事 （anecdote）

不論是 Dagher 等人或 Treagust 等人，都發現科學教室裡頭，有些解釋是反科學但卻具有說服力的，如擬人化解釋與目的論解釋。例如：Treagust & Mamiala（2003）在化學課堂上觀察的結果，進一步合法化擬人化解釋和類比解釋在科學教室的地位。在這個研究中，他們定義了要進行分析的五種型態解釋：類比、擬人化、理性、問題為本（problem based）、模型為本（model based），如表 2-1-4。例如：教師或利用「家族」的概念來解釋元素週期表中，同一族元素會具有類似的特性，這種擬人化解釋的確可能造成誤解，但這種解釋的目的在讓學生理解元素的行為和其在週期表的位置有相關性，而也的確能達成目的。Treagust 等人也注意到表徵的重要性，也就是說一個有經驗的教師或一個有效的教學應能同時整合多重表徵：方程式、模型、繪圖、文字描述，和各類型的解釋，來說明同一現象。

表 2-1-4 Treagust & Mamiala（2003）在化學課堂上所發現的解釋類型

解釋型態	描述
類比	用熟悉的經驗或現象來解釋不熟悉的。
擬人化	把人類的特質加諸在現象之內，使之看來熟悉。
理性	該解釋和聽眾個人經驗有所關連
問題為本	透過問題的解決，來完成解釋。亦即一概念或現象是在解題的過程中，得到解釋或澄清。例如：解一個化學平衡的計算題，來解釋化學平衡。
模型為本	利用科學模型來解釋一個現象，如球、棒模型分別代表原子和化學鍵。

（三） 科學教科書裏的解釋類型

科教研究者除了觀察教室裏教師所使用的解釋類型外，也有學者觀察了教科書內的解釋。例如：Veel（1997）依據語言的社會目標和功能，將中等學校的文本分成四個領域，其中第二領域：科學地解釋事件，又區分出六種解釋：序列解釋、因果解釋、因素解釋、理論解釋、結果解釋、探究。

1、 序列解釋（sequential explanation）：

序列解釋說明事情如何發生。它描述可觀察的一系列連續發生的事件，這些

事件都是必然而有規則的，例如：人類操作電腦的程序。序列解釋以時間為順序解釋給讀者，讀者可以透過描述現象的連續事件來理解。序列解釋限制在描述可觀察的部分。換言之，在 Veel 的定義中，不可觀察而需用推理來做出的解釋，就不屬於序列解釋的範圍及目的。

2、 因果解釋（Causal Explanation）：

因果解釋類似序列解釋，同樣在說明一系列連續發生的事件，然而因果解釋功能不只是描述事件的特別順序如何發生，還描述它為什麼會發生，也就是說因果解釋連結了事件的連續性及因果關係。因此，因果解釋涉及邏輯推理，且包含不易直接由感官獲得的實體或過程。

3、 因素解釋（Factorial explanation）：

因素解釋則在說明由許多因子結合的現象，這些事件不可能歸於單一事件或導致現象發生的一系列連鎖事件。因此，因素解釋通常設法將物理環境中解釋的事件情境化，而不是以分離的或抽象的現象看待。也因此，因素解釋不會用序列性的因果來說明自然現象的起因。

4、 理論的解釋（Theoretical explanation）：

理論解釋通常以理論為起始，然後解釋一個或更多包含理論的事件。這種理論解釋的架構會先有個理論陳述，陳述原則、定律或公理，接著以不同的情境中

發生的現象來舉例。理論解釋通常被用來對抗「一般常識」及直觀的現象。譬如一個物體依其形狀，投射的影子有不同的形狀和大小。一般常識告訴我們影子會和物體一樣有相同的形狀和大小。我們需要光學理論理論來解釋光的行進和影子這種現象。因為依賴公理、定律或假設，理論解釋明確地屬於科學的世界，而且遠離了日常生活的經驗。

5、 結果性解釋（consequential explanation）：

說明一事件所引發的效應，這些事件有可能引發出多種效應。

6、 探究（exploration）：

說明可以有兩個以上可能解釋的事件，但不加以仲裁。

Veel 認為大部分學校科學的解釋一開始是基於可見而清楚的事象，但在持續地加以因果解釋之後，最後就會建立在相當複雜的理論上。這六種解釋類型的寫法，有助於學生能以科學方式解釋事象。

（四） 科學教科書內「解釋」的寫法

對於教科書在解釋現象時所使用的體裁或寫法，除了 Treagust & Harrison（2000）針對費曼的經典物理教材'action in motions'的文字，進行過解釋的分類，發現其中有許多類比、比喻、擬人化、目的論解釋。Unsworth（1997，2001）

則以系統功能語言學的角度，研究教科書中有關解釋的寫法，指出課文中「解釋」的寫法明顯和其他種的課文形式不同，各有其獨特的寫法，也就是各有獨特的基模結構（schematic structure）。例如：操作程序（如實驗）的基模結構為：先有一個目標，再有材料和步驟的描述。一個申論的寫法為：先有個論點，再加以論證，最後再重複論點。解釋的寫法則是是有三個功能階段，界定出探討方向（orientation），再有蘊含序列（implication sequence），最後則有一個結尾（closure）。每一個階段又可有一些細目，但不同的課本在解釋同一或不同現象，可能會缺乏部分細目。表 2-1-5 和表 2-1-6.分別顯示 Unworth（2001）所引用的澳洲中學教科書課文中對於「煤的形成」和「聲音傳播」的解釋段落結構。在「煤形成」的課文裡，探討方向這一階段，包括有現象確認、解釋摘要等細目，但沒有現象情境化。蘊含序列這一階段則有情況、促進、轉型等細目，最後的結局部分，則有評論等細目，而無其他細目。

「聲音傳播」的課文裡，亦有類似的層級結構，不過有多一個「現象舉證」這個功能階段，此階段用以指示學生可參考協助閱讀的圖形。除此之外，和「煤形成」課文相比，每個功能階段內的細目有很大的不同，例如：在探討方向這階段裡，有現象確認、連結、類比說明三項細目，在蘊含序列裏呼應了音波的本質，而有壓縮、膨脹、序列三個細目，在結尾裏則有結論、延伸、通則化/應用等三個細目。

表 2-1-5 課文中「煤的形成」解釋文的結構（改自 Unworth，2001）

功能階段	細項	課文內容（煤）
探討方向 orientation	現象確認 Phenomenon identification	煤
	現象情境化 Phenomenon contexualization	
	解釋摘要 Explanation summary	煤是埋藏在地層內植物的遺骸所形成
蘊含序列 Implication sequence	情況 condition	在遠古時代，森林溫暖潮濕，死亡的樹木和其他植物遺體，在尚未埋入地層時，已在森林底部堆成厚厚的好多層。
	促進 trigger	當地層下陷時，這些植物遺體層會被水覆蓋，泥沙、淤泥也慢慢沈澱在這片水域裡。
	轉型 transformation	經過數百萬年後，這些沈積物的重量和高溫，把原來植物遺體層內的水分消除。 這些植物遺體現在變成泥煤了
	轉型 transformation	當泥煤被壓縮， 且變得越來越高溫 濕氣會消失得更多

		會變成褐媒
	轉型 transformation	在某些地方，褐煤的上方又堆了不少植物遺體層， 使得這些褐煤的水分變得越來越少， 因此形成黑煤。
結尾 closure	評論 comment	無煙煤是各種煤炭中，含水量最低者， 但在澳洲地區難得一見。

表 2-1-6 課文中「聲音由來」解釋文的結構（改自 Unworth，2001）

功能階段	細項	課文內容（煤）
探討方向 orientation	現象確認	聲音是如何產生和如何傳播的？
	連結 link	要產生聲音，需要有擾動空氣的震動， 小的震動造成輕柔的聲音， 大的震動較為劇烈的擾動空氣 產生更大的聲音，
	類比說明 Analogical account	震動的物體會製造聲音， 震動的物體經由空氣發送音波 當物體震動時，會擾動其周圍的粒子， 這氣體粒子會干擾其他氣體粒子，依序下去。 就如同骨牌一樣，音波或擾動會由氣體粒子 傳到下一個氣體粒子。 不過，和骨牌不同的是氣體粒子會彈回其原 位。 音波可在氣體、固體、液體中傳播 因為這三者都包含著粒子（可傳遞擾動） 所以，聲音不可能在真空中傳播，因為沒有

		粒子來傳遞來自震動物體的擾動，音波也就不可能形成。
現象舉證 Phenomenon exemplification		圖 XX 顯示了物體震動產生音波的情形
蘊含序列 Implication sequence	壓縮 compression	當物體移到右邊時，它會推動其旁邊的氣體粒子。 這壓縮的氣體粒子又會推動粒子至右邊，並且壓縮它們。 當每一個氣體粒子都推其旁邊的粒子到其右邊時，壓縮便沿著空氣傳遞過去了。
	稀釋 rarefaction	當震動的物體移回其左邊時，其右邊的粒子就不再受到推動， 它們就散開或互相分開。 當壓縮沿著氣體傳過去後，緊接著氣體粒子散開的狀況也會傳送過去，
	序列 seriation	因為震動的物體不斷左右搖晃 一系列氣體粒子的壓縮和膨脹也從該物體處傳送出去。

續表 2-1-6

結尾 closure	結論 conclusion	這些壓縮和膨脹製造了音波
	延伸 extension	震動中的物體將大部分的音波，聚焦在其震動的方向。 但音波邊緣的彎斜情形，也會使之往震動物體的四面八方散開。 這可參考圖 XXX 上方的說明。
	通則化/應用 generalization/ application	同樣的過程可以發生在液體或固體內的粒子， 所以它們也都可以傳播聲音。

Unworth 以系統功能語言學分析課文所得成果，對本研究可以有以下啟示：在體裁分析上，Unworth 所定位出的解釋段落，均由「探討方向」起頭，最後則是「結尾」，這點可以提供本研究在分析課文中解釋類型時，可以在滿山滿谷的文字中或滔滔不絕的講課中，找到真正進行「解釋」這項動作的位置，並進而進行分析。

Unworth 等人以系統功能語言學角度分析了「解釋」的寫法，這種分析對於我們要確定教科書文本中「解釋」的位置，有很大的幫助。除此之外，Thagard

（1999）也提出了「解釋基模」一詞，也有助於我們理解解釋的結構或寫法，將在下一小節介紹之。

（五） Thagard 的解釋基模

Thagard（1999）提出的解釋基模，主要是用來表徵生物科學界的典範，因為生物學界不像其他物質科學有明顯的定律。通常物理學會以更能解釋更多自然現象的精簡數學定律的更替，來代表科學的進步，或是科學革命的產生，典範的轉移。Thagard 則以解釋基模的改變，表示出醫學的進步，如對於疾病的解釋，由早期的體液理論解釋模式到病菌論解釋模式、分子遺傳模式等。也就是說，在醫學進步的過程，不像物理學的進步會涉及到定律公式的改變，而是解釋基模的改變。換言之，某一解釋基模，如病菌論在生物學的地位，可和物理定律如牛頓定律在物理學中的地位相提並論。Thagard 的這種說法不但比較出物理、生物科學的差異，也暗示了基模可以歸屬於科學解釋之一的通則性解釋，例如：Thagard 便以解釋基模，探討醫學史上對於疾病起因解釋的演變。撇開科學史或科學哲學的討論不提，單看 Thagard 對解釋基模的描述，可以讓我們從另一角度更加認識解釋的結構或本質。底下即介紹 Thagard 的解釋基模。

1、 <u>Thagard 解釋基模的定義</u>

Thagard 的每一個解釋基模包括兩個部分：解釋目標（explanation target）與解釋模式（explanation pattern）。針對同一種解釋目標，可能會有不同的解釋模

式，因此解釋基模會依據解釋模式的不同，而有不同的類型。例如：針對同一解釋目標：「為何一群科學家會接受特定的信念呢？」可以有不同的解釋模式，因而造成下列的解釋基模：邏輯、認知、社會、整合性。

1、邏輯性解釋基模（logical explanation schema）

（1-1）解釋目標：為何一群科學家會接受特定的信念系統呢？

（1-2）解釋模式為：

（1-2-1）科學家有一套先前的信念（previous beliefs）。

（1-2-2）科學家應用了一的邏輯方法。

（1-2-3）當把邏輯方法應用到先前的信念時，會得到一個新的信念（acquired beliefs）。

（1-2-4）科學家因此接受了此新的信念。

此解釋基模，可以選用不同的邏輯方法，如演繹、確證理論（confirmation theory）、貝氏機率理論（Bayesian probability theory）等，再加以細分。

2、認知解釋基模（cognitive explanation schema）

（2-1）解釋目標：為何一群科學家會接受特定的信念呢？

（2-2）解釋模式為：

（2-2-1）科學家有一套心智表徵，此表徵包含了一套先前的信念。

（2-2-2）科學家的認知機制，包含有一套心智步驟（mental precedures）。

（2-2-3）當把這套心智步驟應用到心智表徵和先前信念時，會得到一個新的信念。

（2-2-4）科學家是接受了這套新的信念。

此解釋基模，比起邏輯性解釋基模，更為普及，因為認知解釋基模比起反心理的邏輯解釋基模，多了人類心理運作的合理部分：心智表徵和步驟，此兩者的產生，不需受限於形式邏輯。且表徵可以不只是句子，包括圖畫、地圖、任何視覺意象都可成為表徵。而心智步驟也非演繹、歸納等邏輯方法，例如：Thagard所提倡的解釋融貫性。心智步驟也可解釋新概念、假說、決策的發現，而這是邏輯方法所做不到的。

3、社會解釋基模（social explanation schema）

（3-1）解釋目標：為何一群科學家會接受特定的信念呢？

（3-2）解釋模式為：

（3-2-1）科學家有一套先前的信念和興趣（interests）。

（3-2-2）科學家有社會連結和權力關係（social connections and power relations）。

（3-2-3）先前的信念、興趣、社會連結和權力關係導致新的信念產生。

（3-2-4）科學家是接受了這套新的信念。

科學社會學家想超越邏輯方法與心智步驟，他們注意到在不同的社會情境裡，科學家會有著不同興趣，而科學的發展也會受到下列兩因素的影響：社會連結和權力關係。社會連結控制了在科學家內訊息的流動，權力關係使得某些科學家更有影響力的決定研究方向。

這個解釋基模和邏輯基模不相容，和認知基模的差異在，把科學發展的最佳解釋用純認知或純社會來解答。Thagard 認為皆無法完整解釋科學知識的成長，因此提出了第四項：整合性的解釋基模。

4、整合認知、社會解釋基模（integrated cognitive-social explanation schema）

（4-1）解釋目標：為何一群科學家會接受特定的信念呢？

（4-2）解釋模式為：

（4-2-1）科學家有一套心智表徵，其包括了一套先前的信念和興趣。

（4-2-2）科學家的認知機制，包含一套心智步驟。

（4-2-3）科學家有社會連結和權力關係。

（4-2-4）當在社會連結和權力關係的情境下，應用了先前的信念、興趣，藉著心智步驟導致新的信念產生。

（4-2-5）科學家是接受了這套新的信念。

Thagard 指出這套模式，把決定科學家信念改變的認知和社會因子，都採納進來。不過在科學史中，兩者影響力的比重其實不一定。例如：演化論取代創造論的例子中，認知因子如解釋融貫性是主要的影響。另一方面，若解釋目標改為：「為何十九世紀美國工業主義者，信奉社會達爾文主義」，此時社會因子便占主導地位。

針對不同的解釋目標，可能會有不同的解釋基模。上述的例子，談的是科學家是否接受一個新的信念，其實科學哲學的重要議題，即科學革命或科學進步產生的原因。底下再以 Thagard 在「科學家如何解釋疾病？」這本書中，所著力的重點，也就是疾病成因解釋的更替，再舉一些解釋基模的例子。

2、 解釋基模的例子：疾病

Thagard 認為在醫學中有兩種類型的解釋很重要，一是醫生做疾病的診斷，以解釋症狀的由來，二是解釋為何病人會生病，其實這便是在解釋「病因→疾病→症狀」這個序列性過程的兩個箭頭（連結）處。不過該書主要談的是第二個解釋，也就是疾病的起因。Thagard 認為醫學中的理論知識，不像是物理學可以用一些數學方程式，來為許多被觀察到的現象做一個統一性（unified）的解釋，醫學上的統一性是另外一種形式，例如：針對不同的疾病，找出一個架構好的解釋基模來解釋之。

1、疾病解釋基模（medical explanation schema）

（1-1）解釋目標：為何一病人會得到一種帶著某些症狀的疾病。

（1-2）解釋模式：

（1-2-1）此病人正遭遇或曾遭遇因果因子（causal factor）。

（1-2-2）此因果因子造成了疾病和症狀。

Thagard 指出以黑體字註明的部分，可以更換成任一病人、症狀、疾病，使得此一基模具有統一性。在醫學史中，隨著醫學、科學的進步，人們找出更多疾病成因的解釋，這些解釋 Thagard 認為又可以區分出以下幾種基模。

若把因果因子，用「神的懲罰」一詞代入，這也算是一種解釋，不過我們會當此解釋為迷信，不算科學解釋。Thagard 認為第一個提出疾病的科學解釋的是希臘時代的 Hippocrates，其解釋基模為體液理論解釋基模（humoral theory explanation schema）。

2、體液理論解釋基模

（2-1）解釋目標：為何一病人會得到一種帶著某些症狀的疾病。

（2-2）解釋模式：

（2-2-1）病人的身體含有四種體液：血液、痰、黃色膽汁、黑色膽汁。

（2-2-2）營養和環境因子會使得**體液比例**失去平衡。

（2-2-3）體液的不平衡造成了**疾病和症狀**。

同樣的，黑體字所標註的名詞可以用任何一種疾病、症狀、體液比例代入。例如：解釋目標：「為何病人的羊癲風會發作呢？」解釋模式：「病人身體含有過量的痰」，「過量的痰導致羊癲風發作」。

在西方，體液理論主導了疾病成因解釋兩千多年，直到 1860 年，以法國人巴斯德為代表性人物的科學家們提出了病菌論（germ theory），以微生物來解釋疾病的成因，Thagard 將之稱為病菌論解釋基模（germ theory explanation schema）。

3、病菌論解釋基模

（3-1）解釋目標：為何病人會得到帶有某些症狀的疾病？

（3-2）解釋模式：

（3-2-1）**病人被微生物**所感染

（3-2-2）微生物導致了**疾病**和**症狀**。

同樣的，黑體字所標註的名詞，可以用許多疾病、症狀、微生物代入。此解釋基模一直到現在還普被接受，且新的微生物種類陸續被發現，從細菌、原生生物、真菌、病毒到普恩蛋白。

二十世紀初期，科學的進步讓人們看到因為維他命缺乏所引起的非感染性疾

病的存在，這種疾病成因的解釋，稱營養性疾病解釋基模（nutritional disease explanation schema）。

4、營養性疾病解釋基模

（4-1）解釋目標：為何病人會得到帶有某些症狀的疾病？

（4-2）解釋模式：

（4-2-1）病人缺乏某種必須的養分。

（4-2-2）缺乏此養分導致了疾病和症狀。

黑體字所標註的名詞，可以用許多疾病、症狀、養分代入。

1950 年代，醫學上開始瞭解免疫系統可協助對抗感染性疾病，但也發現免疫系統的過度運作會導致身體組織受到傷害，反而造成疾病，Thagard 稱此疾病成因的解釋，為自體免疫疾病解釋基模（autoimmune disease explanation schema）。

5、自體免疫疾病解釋基模

（5-1）解釋目標：為何病人會得到帶有某些症狀的疾病？

（5-2）解釋模式：

（5-2-1）病人的免疫系統攻擊感染源。

（5-2-2）免疫系統過度活化，且攻擊了身體組織。

（5-2-3）身體組織的傷害，導致了某些**症狀**。

黑體字所標註的名詞，可以用許多疾病、症狀、身體組織代入。

1980 年代以後，因為分子遺傳學的發展，使得疾病的解釋產生了很大的轉型。由分子遺傳學而來的解釋，極不同於十九世紀和二十世紀初期的病原體論、營養不足論。Thagard 稱此為分子遺傳疾病解釋基模（molecular genetics disease explanation schema）。

6、分子遺傳疾病解釋基模

（6-1）解釋目標：為何病人會得到帶有某些症狀的疾病？

（6-2）解釋模式：

（6-2-1）**病人身體的基因**，記載在 **DNA** 上。

（6-2-2）DNA 決定了 **RNA** 的合成。

（6-2-3）RNA 決定了多酉太的合成，後者會形成**蛋白質**。

（6-2-4）病人身體的正常功能，需要合成各種蛋白質來完成。

（6-2-5）**突變**會使得 DNA 發生變異。

（6-2-6）突變的 DNA 使得某些合成出來的蛋白質異常，而這些蛋白質是身體正常運作所必須的。

（6-2-7）身體無法正常運作，導致了症狀和疾病。

小結：相較於物理學以更能解釋更多自然現象的精簡數學定律的更替，來代表科學的進步，或是科學革命的產生，典範的轉移。Thagard 則以解釋模式的改變，表示出醫學的進步，對於疾病的解釋，由早期的體液理論解釋模式到病菌論解釋模式、分子遺傳模式等。也就是說，在醫學進步的過程，或是典範的轉移，不像物理學的進步涉及到定律公式的改變，而是解釋基模的改變。換言之，某一解釋基模如病菌論在生物學的地位，可和物理定律如牛頓定律在物理學中的地位相提並論。Thagard 的這種說法不但比較出物理、生物科學的差異，也暗示了基模可以歸屬於科學解釋之一的定律性解釋。

四、科學解釋的意義

前文在討論解釋類型時，陸陸續續提到一個詞彙：「科學解釋」。但未清楚出區分出解釋和科學解釋之不同？在劍橋哲學辭典裏，只有「解釋」，並沒有「科學解釋」一詞，辭典裡並沒有說明為何如此。研究者的猜想是，在哲學的討論裡，夠格稱為「解釋」者，必定有其強大的說服力，不會包含那些漏洞百出、不合邏輯的「解釋」類型。又如前文所討論的各學者對解釋的看法，可以發現其實有一些學者根本不區分兩者有何不同，直接把解釋等同於科學解釋，如劍橋哲學辭典。有些學者如 Thagard（1992）和 Dagher（1992），則不把科學解釋當作有何特殊地位，只談解釋，但你可在它的解釋分類中，看到其他學者所指的科學解釋。Hempel 和林正弘則不談解釋，只看科學解釋，不過他們的科學解釋又僅侷限在邏輯實證學派的涵蓋論。Treagust & Harrison（2000）和 Salmon 有區別出解釋和科學解釋，但只有 Salmon 一人清楚區分兩者的不同。例如：圖 2-1-1 和 2-1-2，Salmon 認為那些用來回答 why does 問題的解釋，才算是科學解釋，但他也承認功能性解釋在生物、社會、人類學科也很普遍且合法。同時他認為科學解釋有著實用和智識（intellectual）的價值。

Salmon（1998，p60），曾舉一個例，初步回答解釋與科學解釋的不同，他說當小孩在海灘堆了個城堡，卻看到不斷上漲的海水即將吞噬到他所搭建的城堡時，他會問為什麼海水會不斷上漲呢？父母師長的回答可能是：「因為海水會規

律的漲退潮」, 這種解釋或許可以暫時滿足小孩的好奇心 , 但 Salmon 認為這並非科學解釋，因為這種解釋未涉及因果效應（ lack of reference to any causal influence), 僅是非因果的規律性(noncausal regularity)。換言之 , Salmon(1998 , p312)在本篇文章中認為科學解釋必須有「因果相關」在內 , 不能僅有統計相關。但僅用因果相關就可以完全區分開解釋和科學解釋嗎？更何況若採用其他學者的定義：只要能涉及因果 , 才能算是解釋 , 否則便是描述了。因此單只考慮因果效應 , 為事象的發生找「因」, 難以說是「解釋」和「科學解釋」的差別。另外，前文也提過在大部分 Salmon 的文章裡，其實認為科學解釋也有好幾種類型，有些涉及因果（機制）, 有些則不涉及因果（通則）。換言之，科學解釋也不一定要涉及到因果。以下將由幾種角度，包括「科學的」的本質、源自邏輯實證論的觀點 , 以及科學哲學對於解釋的兩大傳統 , 來試圖比較出解釋與科學解釋的不同。

（一）「科學的」解釋

解釋和科學解釋 , 至少在字面上 , 後者多了一個「科學的」這個字眼 , 換句話說 , 一個解釋要被冠上「科學的」, 而成為「科學解釋」, 似乎需具備一些條件，

Dupre（ 1993 ）則提出，最能符合「科學的」一字，最可能的便是符合「物質單元論」(substance monism)，也就是認為世界由某種成分組成，宇宙的所有現象都可化約到這些基本成分的行為互動。換句話說 , 科學解釋是能把自然現象化約到基本物質的運作 , 已經有許多哲學家對此種物質主義的說法提出質疑 , 尤

其生物哲學家對於「生命」是否能完全用物質來解釋，已提出許多討論。

若把物質主義視作只是化約論的一部份，則可略微解決此一困擾，例如：Sterelny & Griffiths（1999）指出化約一字，其實有三個意思：

理論通則化（Theoretical unification）：依此概念，科學的目標應是要發展定律系統或通則（systems of laws or generalizations），科學的發展便是找出一新的定律來把之前看似不相干的數個定律加以統合（化約），例如：牛頓定律可統合克卜勒三大行星定律和地球上的潮汐現象，而牛頓定律又僅是相對論在某一時空的現象。相對論統合了之前相關科學定律，或說是相對論化約了之前的定律，因此相對論比起之前的定律，更是「科學的」，也更令人信服。

分解（Decomposition）：依此概念，科學探究的目標在把現象分成獨立的成分，並分別研究之，若不能以物質實體來切割（如區分原子分子），也要以概念實體來區分（如心理學上區分的行為類型）。科學研究常做的是，改變某一成分的行為，看現象會有何改變。此角度反映出來的科學解釋是：運用成分的互動解釋自然現象，例如：燃燒這個現象，可用燃素離開被燃物（燃素論）或與氧分子結合（氧化論）來解釋。

明確的機制（Identifiable mechanism）：這種概念指的是科學解釋中，必須包括有明確的機制存在。例如：支持大陸漂移學說的學者，在前世紀中葉並不多，因為實在難以看出板塊是如何漂移的，這種不能用一般物理化學過程的持續

（concatenation）來理解的機制，使得大陸漂移學說之前一直不被認為是科學理論。

（二）邏輯實證論者的涵蓋律模式

最知名、最早為科學解釋定下規範或定義者是 Hempel，他的涵蓋律模式曾是論述科學解釋最著名的典範（Hempel，1965； Salmon，1989）。主張涵蓋律模式的科學哲學家，堅持涵蓋律模式是理想的模式，一切科學解釋皆應以此模式為理想的目標，他們認為在科學史或科學實況中，科學解釋未能符合理想模式，乃是因為我們使用的定律不夠精確，我們所知道的先行條件不夠豐富，或我們對抽象概念不夠透徹。雖然這些邏輯實證或經驗學派提出了許多辯解，但科學哲學界經過波柏的否證論，及孔恩的典範說，以至今日，涵蓋律這個理想模式，已不再被哲學界所全然信服（林正弘，1991）。甚至 Godfrey-Smith（2003）指出涵蓋律模式已成歷史灰燼(the covering law theory is dead), 不過 Hempel 的 D-N model 和 I-S model，即使備受批評，也應該沒有人否認它是一種類型科學解釋，地位超過一般的解釋。因此分析此模式，或許可以看出「科學的」要具備何種精神。林正弘教授分析 Hempel 的涵蓋率模式，指出一個適當的科學解釋必須具被以下四個條件，他稱之為「科學說明的切當條件」:（林正弘，1991，p43）(林正弘教授把 scientific explanation 翻譯成科學說明，其實亦即本文所稱的科學解釋。)

（條件一）: 以普遍定律及先行條件為前提，必須能推出某一結論。由前提

到結論的推論必須是正確的，如果推論是錯的，換言之，由前提推不出結論，則這些普遍定律與先行條件不足以說明該結論所描述的事象為何發生。例如：為了說明九二一大地震，有人列出政治學理論，和當年所發生的一連串社會治安事件做為前提來說明，這顯然是不切當的，不是因為政治學理論不正確或該一連創社會治安事件不真實，而是他們與九二一大地震無關，不可能由此推出結論。

（條件二）必須列出普遍定律。因為科學解釋的目的是要指明某一事象的發生是符合自然律的。

（條件三）所列出的普遍定律必須得到高度驗證。若普遍定律為得驗證，則其本身是否成立尚有疑問，如何用來做切當的說明。

（條件四）先行條件必須是真實的。如前面（1-3）把岩鹽放在火焰中。這個事件必須真的發生。

這四個條件其實反映了涵蓋律的二大精神：強調穩紮穩打的審慎態度，不接受任何未得高度保證的前提或結論（普遍定律必須得到高度驗證、先行條件必須真實）。抽象概念如普遍定律必須要有明確的經驗內容，必須與具體事項之間有邏輯關聯（待解釋項必須由普遍定律和先行條件推出）（林正弘，1991）。林教授認為這正是涵蓋論模式遭受困難的原因，因為無法同時滿足第一、三、四等三個條件。

涵蓋律模式使用的實例，在前文討論解釋類型中的演繹解釋和統計解釋時，

已舉過一些實例，因此在此不再多加贅言。

（三） Salmon 的三個概念

Salmon（1984，1998）指出可以用三個概念來看何謂科學解釋：

1、 知識論概念（Epistemic conception）

這種觀點最傳統的形式，便是把科學解釋視為一種論證，一種推論的版本。論證以下效應：一個要解釋的事件，可藉解釋的事實，而可期待其會發生（an argument to the effect that the event-to-be-explained was to be expected by virtue of the explanatory facts…. ），因為在定律和先行狀況的一端及另一端的要被解釋事件之間，有邏輯必然性（logical necessity），也就是說，在解釋項的敘述（explanans-statements）和待解釋項的敘述（explanandum-statement）之間，要有邏輯必然性。用這種角度看科學解釋，最典型的例子，便是 Hempel 的涵蓋律模式：假設我們要解釋某一事象，例如：特定慧星在何時何地的出現。藉著特定的普遍定律，加上適當的先行條件，我們可以演繹出該事象發生的時與地。利用觀察所得資料，加上普遍定律來用於演繹中，因此提出關於「事件」的解釋。

此觀點所受到的批評，其實便是 Hempel 和實證論所受到批評一樣，包括不充分、不必要等，由於前文已經提過，這邊便不再贅述。

2、 模式概念（Modal conception）

科學解釋做的事情,是在顯示出那些已發生的,本來就必定會發生(scientific do their jobs by showing that what did happen had to happen)。秉持的想法是在先行狀況和待解釋項之間的法則相關，有著律理必然性（ nomological necessity)。律理必然性衍自自然法則(the laws of nature),就像是邏輯必然性衍自邏輯法則(the law of logic)。給予特定的先行狀況和自然法則，則待解釋項必然發生。若用非決定論的哲學觀，則 Modal Conception 的立場，會變得薄弱。

3、 本體概念（Ontic conception）

把解釋視為展示的方法，把待解釋項配置到自然的模式或規律（ sees explanation as exhibitions of the ways in which what is to be explained fits into natural patterns or regularities.)。在此觀點下，因果親密地涉及到解釋中，這是一般人對解釋的直覺，也是 Salmon 自己比較支持的看法（ Salmon，1998，p320)。Salmon 認為那些熟悉 Hume 對因果的批評的人員，可能會設法建構一個非因果的科學解釋來質疑這直覺。但 Salmon 認為這個直覺是有效的，科學解釋真的牽涉到因果。有兩種因果機制，一是傳送因果影響由一處至另一處的時空連續因果過程；二是因果互動

Salmon 指出若用古典物理學的觀點來看，若用決定論的角度來瞭解，則此三種概念其實大同小異，只有字面上的不同，沒有什麼好區分的，但若用現代量子物理或非決定論的觀點看，則區分便明顯了。

（四） 從科學解釋的兩大傳統來討論

前文提到，Salmon 整理了解釋的歷史脈絡，認為解釋有兩大傳統，一是認為與因果無關的 Hempel 派，一是認為與因果有關。與因果無關者可以稱為宇宙觀（cosmology），Hempel 的涵蓋論模式、理論化約（theoretical reduction）為第一個傳統殘留。因果機制（causal-mechanical）則為第二個傳統的殘留。前文曾經提過，為對一事象進行科學理解，可以有兩個面相，一是理論的、描繪世界的圖象，一是因果機制的、打開黑盒子的。其實便是這裡所提到的兩大傳統遺緒，只是 Salmon 用不同的術語表達而已。

而 Godfrey-Smith（2003，p196）則指出涵蓋律模式已非科學解釋的主流，有兩種理論可以替代之，因果理論和統一性理論（causal and unification theory）。這點與 Salmon 對於科學解釋的說法一致，Godfrey-Smith 認為這兩個理論常被視為競爭者，但 Godfrey-Smith 和 Salmon 相同，都認為這兩項理論並非相互競爭，不必非要從中取一不可。但 Godfrey-Smith 也提到，他也不認為用這兩種理論去定義「解釋」，屬於多元主義（pluralism），因為多元主義這個名詞會讓人誤解，認為一個好的解釋必須同時能滿足因果理論和統一性理論。他認為與其用多元主義，不如用背景主義（contextualism）一詞更好，在背景主義的觀點下，一個科學領域裏的適當解釋類型，未必適於另一個科學領域，換句話說，判斷解釋是否為好解釋的標準，會依據不同的科學標準而改變。Godfrey-Smith 認為他的情境主義的想法，其實和前文提過的 Van Fraassen 的「解釋與情境相依」名同實異，

Van Fraassen 否認解釋是科學內部的事，解釋是人們是把科學理論拿來回答外於科學本身討論的問題時所做的事。而 Godfrey-Smith 則剛好相反：解釋是貫穿整個科學內部，只是各有不同，評估何者解釋了何者，是科學推理中最重要的一部份，但不同的領域可能會使用不同的解釋概念和標準。

五、科學解釋的類型

Salmon（1998）曾在一篇名為：「慧星、花粉和夢境：科學解釋的一些反思」中，把科學解釋的定義，經由科學史例子和學科範疇，擴展了科學解釋的範圍，把科學解釋區分成三大類：演繹的、統計的、功能的。首先是演繹的解釋，以慧星的運作軌跡為例，此類解釋便是 Hempel 的涵蓋律模式的傳統；第二類為統計的解釋，以當年植物學家觀察到花粉的運動為例，花粉的布朗運動，並非來自生物的內在生命力，而是受到周邊其他分子的碰撞，諸多分子以不同方向的碰撞，造成了花粉的隨機運動，這種運動來自分子碰撞的統計結果，所以這種解釋屬於不可化約的統計，相同的例子還有鈾這類放射性物質的半衰期，鈾內的原子會固定放出α粒子，在固定的時間（半衰期）會有一半的原子放出α粒子，但到底是哪些原子放出α粒子呢？沒有一定的規律或因子來控制，完全是機率問題，因此只能做出統計式解釋。最後一種是功能性解釋，引用的例子是著名的佛洛依德的精神分析學派，佛洛依德把夢的產生視作是為了填補潛意識的需求，因此是一種功能性解釋。

在其他大部分的文章裡，Salmon 把統計解釋置換成為通則性解釋。亦即 Salmon 指出以下三種解釋：功能性解釋、通則和因果機制，可算是科學解釋。底下先詳加討論這三種科學解釋。

（一）功能性解釋

1、 定義

所謂功能性解釋指的是「以某一現象、事件、結構的存在，造成的利益、優勢，來說明該事象、結構，得以存在或發生的理由。」Salmon（1998）在一篇名為：「慧星、花粉和夢境：科學解釋的一些反思」中，特別強調功能性解釋在科學中的地位，認為這種解釋在許多學科，例如：生物學、社會學、人類學都很常見。他引用的例子是佛洛依德的夢的解析，佛洛依德把夢的產生視作是為了填補潛意識的需求，這種解釋「夢」現象的方法，便是一種功能性解釋。不意外的，功能性解釋在生物相關教材中常出現，諸如「大象耳朵為何那麼大？因為體型太大，必須用這個方法散熱」、「保持高而恆定的體溫，具有許多生態及生物地理上的利益」。

基於功能性解釋不同於目的論解釋，在許多科學領域普遍採用，且有簡化溝通的好處，因此 Salmon 認為其在科學中仍屬合法（legitimate）。不過此種解釋常被受到一些批評，認為是不合法、不完全，雖有啟思功能，但終究會被非功能性解釋所取代。Salmon 指出功能性解釋之所以被批評，主要有以下三個原因：

一、功能性解釋被歸類成目的論或擬人化。二、功能性解釋侵犯了時間順序的規則，因為用之後的結果，而不是用之前的狀況，來解釋一個機制的存在。三、原有對「科學解釋」的想法（指源自邏輯實證派的 Hempel 觀點），並沒有納入功能性解釋，因為依 Hempel 對「科學解釋」的定義：科學解釋是一種論證，以演繹必然性或高度歸納機率性和事實為基礎，論證要被解釋的事實便是被期待會發生的。針對上述三個對功能性解釋地位的質疑，Salmon 逐一提出反駁：關於涉及目的論和擬人化方面，功能性解釋如果避開意識性的傾向，便可以避開目的論和擬人化；關於時間順序的侵犯，則以沙漠兔子有散熱的大耳為例，指出大耳在「過去」已證明可有效散熱，即使兔子沒大耳，大耳仍對溫度之調節有效。關於之前的科學解釋未能含括功能性解釋上，Salmon 則認為這可能是科學解釋的理論尚不完整所致。

2、 在科學教育的案例

Abrams 和 Southland(2001)在檢驗學生對於生物現象相關問題的回答之後，亦肯定功能性解釋存在於生物學的必要。他們給受測者看一些有關生物性自然現象，例如：豌豆朝向光亮處生長、鳥類在不同季節的換羽、鳥以 V 行排列飛行、仙人掌的針狀葉，等四項的圖片，給總共 96 位不同學齡的中小學生觀看，並詢問他們以下問題：由圖中看到什麼？這些事情（生長、遷移、顏色變化）如何發生？這些變化有助於那些生物嗎？這些生物有去想到這些變化嗎？結果發現不

同學齡階段的參與者，回答問題的答案類型分佈差不多，不管在何種年齡，有相當比例的參與者會用回答 why 之類問題的答案，去回答研究者所提出的 how 之類的問題。

Abrams 在該研究中，定義所謂「why」的問題，其答案給的會是「根本原因」(rationale)，而所謂「how」的問題，其答案會是機制或起因 (mechanisms or causes)，例如：研究者問：「豌豆如何朝向光亮處生長？」，受測者的反應如果是：「因為它需要光線來生長，所以它朝向那邊長。」這種回答給的是豆類之所以這麼長的「根本原因」，不是回答「如何這樣長」而是回答「為何這樣長」。研究者把這種問與答的配對，分類為「how-why」，而有近三分之一的參與者屬於此類型。Abrams 關注學生為何不熟悉「how」之類的問題，他指出可能原因有三：首先與教師授課方式有關，通常在教學過程裏有以下情境：教師提問題、等答案、學生給出答案、教師做回饋。教師所設計的問題通常只是期待學生回答出簡單的答案，很少需要學生進行高階思考。「how」的問題，其答案較長且需較多的推理過程，也因此教師較少提問此問題，所以學生在課堂較少接受到這方面訓練，因此較不熟悉此問題。其次是生物學本身結構的因素，Abrams 引用生物學大師級人物 Mayr 所言：物理、化學研究者比較不注意「why」之類有關根本原因的問題，而注重「how」的問題，但生物學兩者並重，既回答為何有此生物現象，也回答此生物現象如何達成。Abrams 認為這是因為要從演化和適應的角度看生物現象，例如：在回答「鳥的換羽」此一問題時，通常想到的是換羽對於

該鳥類有何幫助，使它具有何種生存優勢。因為生物學會重視「why」的問題，所以學生答案偏向此類，也就可以理解。

第三因素是學生建構解釋時的習慣（manner），通常我們回答問題時，會採用容易溝通的方式。例如：飛機墜毀時，我們會說是因為人為因素、機件故障等造成，而不會去扯到地心引力，因為後者是一項穩定的因素，為了降低認知負荷且簡化溝通，所以不會提及。生物學家便常以「目的論說法」來簡化演化問題的答案，以促進溝通。目的論式的說法，在科學史中的物理、生物都出現過，而這兩學科的進步，有許多便是擺脫「目的論」的觀念。但在現代的生物學還是常使用類似於目的論的「功能性解釋」（Salmon，1998）。

的確，訴諸於目的論的演化解釋，因為有簡化溝通的優點所以很常見，研究者有一個很好的例子。台灣中學教科書提到「洞穴中的魚眼睛退化」，是因為「眼睛不需使用，所以退化」，這種答案便是一個目的論的說法。在大的時間尺度下，「眼睛不需使用，所以退化」是個好解答（Abrams 稱為終極解釋 ultimate explanation）。但在小的時間尺度下，這種說法屬於拉馬克式的目的論，是不被科學接受的。目前科學接受的是達爾文的天擇說：「洞穴魚的祖先原不生長在洞穴中，在某代遠祖之時，進入了洞穴，使得其眼睛變得無用武之地，歷經一段長時間後，無眼睛的個體突變出來，和有眼睛的個體同處（種內的個別差異），無論有無眼睛，魚都可分別生出有其親代性狀的子代（性狀的遺傳），由於有眼睛個體多了個脆弱無用的眼睛（存活率和繁殖率較低），使得無眼睛個體的比率逐

漸增加（積聚），經過漫長的時間，有眼睛個體不復存在，整個族群只剩無眼睛個體。」用天擇說來說明魚眼睛退化的原因，正如上段共需 190 個字，當然增加了認知負荷、使得溝通不便。同時科學所強調的用以回答「how」之類問題的機制或起因，並不能給予「根本原因」的解答，但後者卻是很多人意義來源的必須物。換句話說，回答「why」的問題比起回答「how」的問題，既簡化了認知負荷，也能給出意義，自然大家傾向以此方式來回答。

研究者亦發現目前高中某一版本生物課本上，在談到痕跡器官的起因時提到：「*除了盲腸之外，在人體上大致還可見到為數不少的痕跡器官。例如：動耳肌等，原來都具有某種程度的功能，因為生活環境及習性的改變，**於是這些器官逐漸失去功能而變小**。*」最後一句引文字體變粗，目的是顯示這便是一種對於痕跡器官這種生物現象的功能性解釋，但這句話是否也有「用進廢退」的暗示？回想我們自己的教學和學習經驗，「人類因為不需盲腸來消化食物，所以盲腸退化了」、「生活在洞穴的魚，因為眼睛不需使用，所以退化而不見」等這類的話是否盈耳不絕？這種「不需使用」所以「退化」的邏輯，雖說是一種功能性解釋，但不就是「用進廢退」中的「廢退」。因此以此方式解釋，有可能會造成迷思概念。研究者認為這種功能性解釋仍有存在的必要，因為可以簡化溝通，只要教師在使用這種解釋時，得提醒學生現象的產生，來自無意識的目的，也非生物的宿命。

（二） 通則性解釋

1、 定義

通則性解釋（又稱理論性解釋 theoretical explanation，Salmon 另稱為世界圖像 world picture 或宇宙觀 cosmology），用一套通則定律來解釋事件，不需涉及因果傳遞，例如：用 F=ma 來解釋運動現象，或用 PV=nRT 來解釋密閉容器發生的事件。

一些哲學家和人工智慧學家都主張：要解釋一個事象，便是把他配置入一個模式或信念系統（fit it into a pattern or system of beliefs）（Thagard，1992）。例如：D-N model 以演繹相關把待解釋項和信念串連在一起，此信念遵循著邏輯。把基模應用到要被解釋的事項中，也是一種配置的方式，例如：解釋的重要性常常是為了把不同的現象單純化。Kitcher（1981，引自 Thagard，1992）指出理論性解釋便包含了利用解題基模來提供現象的單一化。包括牛頓和達爾文都運用其提出的理論去解釋不同的事象。由此觀點來看，解釋不該是用演繹或統計來看待解釋的事件，而是用基模把不同的現象單一化（Thagard，1992）。

這種視解釋為利用基模（可稱為理論、定律）把不同現象單一化的方式，便是傳統科學解釋觀的三種化約之一：理論化約（Dupre，1993； Sterelny & Griffiths，1999）。把不同現象整合（含攝）到一個定律裡，依此概念，科學的目標應是要發展定律系統或通則，科學的發展便是找出一新的定律來把之前看似不相干的數個定律或是現象加以統合（化約）。理論化約是科學進步的一種表徵，

也是對自然現象的適當解釋，例如：牛頓定律可統合克卜勒三大行星定律和地球上的潮汐現象，而牛頓定律又僅是相對論在某一時空的現象。相對論統合了之前相關科學定律，或說是相對論化約了之前的定律，因此相對論比起之前的定律，更是「科學的」，也更令人信服。

2、 通則性解釋總結

Brandont（1997）認為源自邏輯實證學派的觀點，會將「定律」定義為：普適的通則（universal generalization），具有律理或自然必然性（nomic or natural necessity），是科學解釋的根本，可以從某些正例中得到確證。但 Brandont 則認為以上定義過於狹隘，忽略了統計性的定律。他從演化生物學的角度做出探討，認為上述的定義雖然有其道理而該保留，但不可忽略能做出科學解釋的，不僅是定律而已，分解性的敘述或是 contingent regularities 也能做出科學性的解釋，當然並非所有的 contingent regularities 都可當作是科學解釋，只有少部分的，亦即具有律理必然性的規律才有此能力。

總結前言，我們可以把通則性解釋定義成：「不同的事象可化約到某一數學性關係或不可變的連動關係來解釋。」最嚴謹的通則性解釋是數學公式，例如：行星的運動、潮汐都可用萬有引力定律來解釋。最抽象的機制基模，也可算是一種通則性解釋，例如：生物體合成蛋白質的路徑，皆為 DNA - > RNA - > 蛋白質。

（三） 機制性解釋

1、 定義

機制性解釋則如解釋光合作用如何進行,這個解釋牽涉到一連串的時空因果傳遞，導致最後產生特定物質或現象，因此 Salmon 又稱這種解釋是打開黑盒子（opening black box）。Sterelny 和 Griffiths（1999）指出化約一字，除了理論通則化外，另有分解（decomposition）和明確的機制（identifiable mechanism）二義，前者指科學探究的目標在把現象分成獨立的成分，並分別研究之，若不能以物質實體來切割（如區分原子分子），也要以概念實體來區分（如心理學上區分的行為類型）。後者指的是科學解釋中，必須包括有明確的機制存在。例如：生物學中在解釋某一現象產生時，例如：身體如何排尿、蛋白質如何合成，便是以一套機制來陳述之。的確，在科學的許多領域，例如：地質學、分子生物學、生物化學或宇宙學，要做出令人滿意的解釋時，都需要提供一個機制的描述（Machamer，2004； Machamer *et al.*，2000； Tabery，2004）。

2、 機制與生物科學

無論在地質學、分子生物學、生物化學或宇宙學，其內的因果解釋通常包含著機制的描述（Tabery，2004）。尤其是在生物科學的各領域中，除了分子生物學、生物化學，神經生物學、生態學也廣泛的使用了「機制」這一種科學解釋（Darden , 2002； Machamer *et al.* , 2000）。Wimsatt（1972 , 引自 Machamer et al.，2000）曾說：「至少在生物學中，大多數科學家認為自己的工作是在藉發現機制來解釋現象。」（Glennan , 2005）亦指出生物學的機械哲學（mechanical philosophers of biology）相信機制是瞭解生物現象的關鍵。在高中、大學生物教科書中，我們也常看到「某某機制」。要解釋生物相關的現象，似乎不可避免的要使用「機制」，例如：演化的機制，蛋白質合成的機制，神經傳導的機制。而這是物質科學所少見的，我們不會說行星自轉的機制，也不會談物體落地的機制。為何生物學常需要使用「機制」來解釋呢？

Sterelny & Griffiths（1999）認為生物學的概念不能完全用物理化學的定律來化約，同時生物學裡頭也無法有定律產生，因為嚴謹的定律是不能有例外的，而目前我們所研究的生命，不過是宇宙中某一時空的產物。生物學也不能完全用成分分解的角度來看，因為有些生命現象是突現的（emergent），是整體取向的（holistic approach），不能用局部、直接的角度來觀之。只有第三種化約論：「找出機制」，是尋求生物現象的科學解釋，最不受爭議的一種。

Glennan(2002)認為在許多情況下，我們的確可以利用基本定律(functional laws ）來統一解釋（ explanatory unification ）諸多看似不相干的現象，例如：牛頓定律，可以解釋重物落地、潮汐、行星運轉。但也有許多解釋是不需要訴諸於基本定律，例如：生物學中利用機制性解釋來說明光合作用現象的發生。

機制性解釋既是生物科學，所常見的解釋。因此研究「機制」的本質，應該有助於我們瞭解生物科學的本質，甚至有助於生物教師執行生物教學工作(不需致力於尋求物理、化學定律之支持)，本文將在第二節來討論機制。

六、解釋的類型與科學教育

（一）科學解釋的類型與課程綱要的制訂

Tang & Chiu（ 2007 ）曾分析了美國的國家科學教育標準（ NSES ）與國內現有生物教科書的課程標準，例如：國中小自然與生活科技領域的九年一貫指標。發現除了觀察、分類等技能活動外(定義為「無解釋」)，認知部分主要便以功能性和機制式解釋為主，且隨著年級增加，功能性解釋比率會降低，而機制性解釋會增多，如圖 2-1-3 和圖 2-1-4。

Tang & Chiu 兩人定義功能性解釋為：「以某一現象、事件、結構的存在，造成的利益、優勢，來說明該事象、結構，得以存在的理由。」例如：：「每一動物或植物都有不同的構造，分別完成某些生長、存活、生殖等功能。」(NSES，

K-4）；通則性解釋為：「不同的事象可化約到某一數學性關係或不可變的連動關係來解釋。」例如：：「所有物質都有朝向更混亂（more disorganized）狀態的趨勢」（NSES，9-12）；機制性解釋為：「以某一現象、事件、結構的存在和活動，解釋另一事象、結構的存在和活動。」例如：「了解生物進行代謝作用時，透過酵素把物質分解、合成與轉換」（九年一貫課程綱要，國中）；若「以一些概念實體來剖析另一概念實體」則為成分分解型解釋，例如：「了解細胞是生命的基本單位及細胞的構造與功能」（九年一貫課程綱要，國中）。

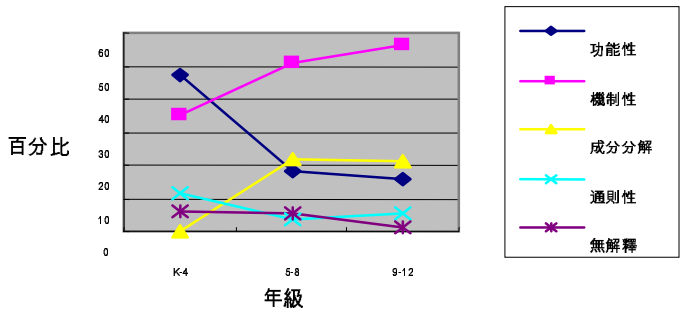


圖 2-1-3 美國 NSES 生物領域課程標準，不同年段各類型解釋比率

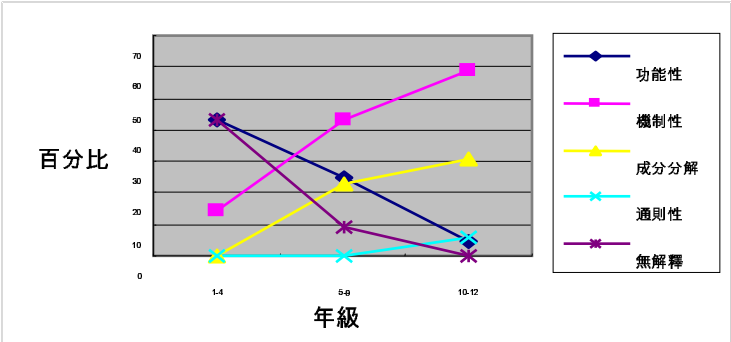


圖 2-1-4 台灣國小至高中生物課程標準，不同年段解釋類型比率

Tang & Chiu 兩人的發現，似乎暗示著低年級的生物教學目標，在認知層次上，描述自然界現象時，需以功能性解釋為準，等到高年級時，才改成機制性解釋。例如：「光合作用」此一現象，在低年級只注意到光合作用的功能（功能性解釋），在高年級則會涉及光合作用如何進行（機制性解釋）。這一點似乎對教科書或課程綱要的編寫有所啟示，通常教科書編寫者是根據教育部所制訂的課程綱要來編撰，筆者亦曾多次參與這類課程綱要編輯的會議，發現專家學者們編輯綱要的依據，主要來自國外相似程度的課程綱要，各專家學者專業的經驗和直覺，以及會議當中的協調共識。換句研究方法學的術語，課程綱要的編輯只有專家效度，純粹靠專家的豐富經驗，沒有內容關連效度。目前大部分的課程標準並無白紙黑字的規定說，國小或國中程度，教科書對於自然現象的解釋要以何種標準來做區分。如果用 Salmon 所建議的三大解釋（或是再加入 Sterelny & Griffiths 所另外提到的成分分解性，成為四個解釋分類）做分類，是否可對教科書的編輯方式提供出另一個參考標準呢？以目前對美國和台灣中小學生物課程綱要的分析，似乎可以看出科學解釋類型會隨著學齡而有不同比率的分佈，或許這正是專家心中的尺度，若能以解釋類型將課程專家心中的尺度加以闡明，可能可以在新課程綱要編撰時，提供一個新的討論角度。

（二） 科學教師所使用的解釋

以科學哲學家定義較嚴謹的科學解釋，來解釋現象成因，或許為充分反映出

真理，而忽略了接受解釋者的理解能力。因此在科學教室中，可能出現有不同的解釋方法或類型，例如：Dagher 和 Cossman（1992）發現教師在課堂上所使用的文字類解釋，有以下類別：無用解釋（tautological）、實用性（Practical）、形上學、擬人化、類比、機制式、功能性、目的論、理性（rational）、一般性（genetic）。Dagher 等人對於解釋的分類，與前文所探討的有很大差異，差異來源除了字義上的掌握外，便是其類型的建立，是以教師實際授課狀況為樣本。有些解釋例如：擬人化、目的論、類比解釋，雖非合法的科學解釋，但在促進學生理解上具有很大的功效（Abrams & Southland , 2001； Zohar & Ginossar , 1998； 湯偉君 , 2006；湯善龍，2002）。這符應圖 1-1-1 所指出的解釋輸出架構，教師扮演真理和學生中介的角色，因此會有因時制宜的解釋策略，但教科書呢？教科書訴諸的對象到底是教師還是學生？教科書內只有完美的科學解釋，還是為學生理解故，而有多樣化的解釋？這都值得探討。

（三） 科學教科書的研究

科學教科書的研究，早期以內容分析為主，近幾年則有許多從語言學的角度切入，尤其是以系統功能語言來分析科學教科書（Unsworth，1997，2001； 李哲迪 , 2006； 趙雅琳 , 2004）。不過，也有少許研究者引入其他學術領域的理論，以期對科學教科書的編輯提供更多元的建議。例如：林靜雯（2006）以生物學系統演化論和學習心理學的研究為基礎，希望能替自然教科書電學內容的編寫方式

提供建議。又如周珮儀（2002）則以後現代文化研究的角度，來觀察教科書的文本權威對教師的影響。研究者發現目前國內教科書的相關研究中皆未似乎探討「解釋」，而事實上，科學教科書的主要工作之一便是在解釋自然現象起因。因此，研究者引入科學哲學和認知心理學對「解釋」、「現象起因」的探討和理論，應能對教科書的編寫提供另一角度的建議。

第二節　機制

一、機制的定義

（一）前言

機制，算是一個既熟悉又陌生的名詞，常被人在日常生活口語當中使用。在學術工作上，單以國立台灣師範大學碩博士論文而言，至 2006 年止，在 12689 篇的資料中，有 51 篇論文標題裡，使用「機制」此一名詞，其中 20 篇更將其納為關鍵字之一，使用「機制」一詞者，遍及文史理各學院。「機制」二字在西方的哲學和科學界裡，也被引用過許多次，Machamer , Darden , and Craver（2000，此三位作者以下簡稱 MDC）等人，搜尋了 1992-1997 年的 Nature 這本期刊和 Philosophers' Index 的資料庫，調查標題和摘要，統計出各有 597 和 205 筆資料出現機制一詞。可見不論中外，大家都愛用「機制」。但若我們去問一位愛用機制一詞的社會科學或自然科學家：「能否對機制一詞下個定義？」他們可以給出正確答案嗎？MDC 認為，雖然在資料庫裡搜尋到的文章，都使用了「機制」一詞，但目前仍缺乏對機制的適當分析，也不瞭解它在科學領域的地位為何？更不能清楚地說出它的定義。在更多人使用「機制」之前，筆者覺得有必要去更加瞭解「機制」。

Mechanism 這個英文單字，對應到中文來，其實有兩個意義。例如：簡明大

英百科全書則將 mechanism 分別譯為機械唯物主義和機構，前者便是大美百科所譯的機械論；後者的定義則為：「在機械結構上，使一部機器或任何機件裝置得以傳送與改變運動的方法。無論一部機器的機構多麼複雜，他總是能解析為許多簡單的基本機構的組合。」大美百科則只針對其一意義：「機械論」來說明，它指出：「機械論為哲學名詞，並不是一個已經定義清楚的觀點或理論，卻是西方科學和哲學思想中未曾間斷的一種趨勢。它將整個宇宙或某些特定的對象比擬為一具機械。」。所以，簡明大英百科全書對 mechanism 的翻譯：「 機械唯物主義」、「機構」，應可更名為機械論和機制。機制雖衍伸自機械論的世界觀，但本文並不對「機械論」一詞多所著墨，而專注在「機制」一詞。

牛津辭典對機制（mechanisms）有兩個解釋：(一)一機器組成的適應物或結構(the structure or adaptation of parts of a machine)(二)一過程的操作模式(the mode of operation of a process)。不論哪一種說法，都是把自然比擬成機器，也是前文談到的機械論的世界觀（Ruse，2005）。這個定義先讓我們先有個想法：機制裡是有結構的，它也是一套運作的過程。

近二十多年來，開始有人對機制一詞進行哲學分析，不過早期這些努力，主要是用於評鑑在特定領域科學裡機制解釋（mechanical explanations）的合宜否，例如：Salmon 把機制的概念用在解釋物理過程，Bechtel & Richardson 用於評鑑神經科學內機制的發現，Schaffner 研究生物和醫學裡對於機制的解釋（Tabery，2004）。把機制的概念引入當代對解釋的相關討論裡，Railton 算是第一個，他認

為解釋描述著原因，而某些事件的解釋，除了需要去參照定律之外，也需要描述參與這些事件的機制，使得解釋更完整，不過 Railton 並未清楚說明何謂機制（Glennan，2002）。Salmon 則承襲 Railton，精緻化了 Railton 的說法。Railton 和 Salmon 所提出的解釋理論，在文獻中一概被稱為因果機制解釋。相較於因果機制解釋（causal mechanical explanation），有許多哲學家對機制一詞，另外提出了不同的看法（Glennan，2002）。Glennan 認為這些新的看法，背後的中心思想，都是把機制視作一個複雜系統。雖然 Glennan 認為機制只有早期的因果機制解釋（即 Salmon and Railton）和後期的複雜系統（其他學者）兩大派別。但據筆者對文獻的回顧看來，除去 Railton and Salmon 的因果機制解釋派，目前對機制的定義，其實應該再分成兩大派別，一是 Gleenan，一是 MDC（Tabery，2004）。後者是 Machamer，Darden，and Craver 等三個人的合稱，相對於 Glennan 則把機制視作一個複雜系統（complex systems），MDC 認為自己對機制的看法，不該被稱為所謂的複雜系統。MDC 認為為了要理解，也為了要進行科學活動，應該要把機制視作是由實體和活動（entities and activities）兩種本體所組成，因此他們自居是二元論者（dualist）（Machamer，2004； Machamer et al.，2000）。

因此對於「機制」有過討論的學者，包括 Railton、Salmon、Glennan、MDC 等，Railton 和 Salmon 把機制引入科學解釋中，但並未對機制下定義，因此本文將不單獨加以深談，而將其想法融入各段落中。以下文章，將主要介紹 Glennan 和 MDC 對機制看法的兩種不同取向，並引用其他學者如 Woodward 和 Tabery

（Tabery，2004；Woodward，2002）的看法和筆者本人的心得，討論這兩種取向的異同。

（二） Glennan 的複雜系統取向

Glennan 有兩篇文章討論機制的定義，1996 年發表在 Erkenntnis 的文章，算是第一篇對機制下定義的文章。2002 年發表在 Philosophy of Science 的文章，則是因應第一篇所遇到的批評，而對機制做的修正。Glennan 對機制的看法，其實是源自對 Salmon 的補充，也就是希望能夠把機制在因果解釋的定位上，更加說明清楚，因此以下將首先探討 Salmon 的因果機制解釋，再討論 Glennan 所做的「機制」定義，所謂的「複雜系統」取向。

Salmon 對於因果機制解釋（causal-mechanical explanation）的努力，一般被視為是對 Railton 的機制解釋（mechanical explanation）加以精緻化，事實上正如前文所言，Salmon 也未對機制下了明顯的定義，取而代之的是他提出一個新名詞，因果連鎖網（causal nexus）：一個互動中的因果連鎖，構成的龐大網路（Glennan，2002； Salmon，1984）。Salmon 的因果機制解釋觀的基本論點，便是把因果連鎖網視作是一個互動過程的網路。Salmon 的工作主要是想對因果解釋和互動提供一個適當的定義(Glennan , 2002 , p343), 他的分析根基於物理學，例如：棒球賽中投手為何能把球投出？投手和球在投球過程中有一互動，此互動是投手在球離開他的手時，把動量移轉到球上，也就是有一個恆定量（conserved

quantity，在此例中為動量）被轉移了（Tabery，2004）。他認為一個過程便是一個實體，會超越時空的影響，形成一永存的結構，一個因果過程則是有能力在自身的結構中，傳遞變動的過程，一個因果互動則是因果過程間的互動，在這互動中，那些過程的永存特性交替地發生。（a process is an entity that maintains a persistent structure through space-time，a causal process is a process capable of transmitting changes in its structure , and a causal interaction is an interaction between causal process in which an alternation of the persistent properties of those processes occurs）（Glennan，2002； Salmon，1984，1998）

Glennan 認為 Salmon 把機制視作是因果連鎖組（causal nexus），是對機制概念的不恰當分析，如果改用複雜系統的觀點，可以避免許多反對意見，例如：在蛋白質合成機制中，並不會出現所謂「恆定量」的轉移。不過 Glennan 也借用 Salmon 的「轉移恆定量」概念，但將之轉稱為「特性的轉變」，Glennan 也把 Salmon 的互動之意加以修正，以超越 Salmon 所強調的微物理的世界（Tabery，2004）。Glennan 對機制的定義，有過兩個版本，先討論較新的定義如下：

定義：某一行為的「機制」是一複雜系統，此系統可藉一堆組成成分互動，而生出該行為，而成分的互動屬於直接、固定、連帶變動的通則。direct , invariant , change-relation generalizations 而被找出來。（A mechanism for a behavior is a complex system that produces that behavior by the interaction of a number of parts，where the interactions between parts can be characterized by direct，invariant，

change-relating generalizations.)(Glennan，2002，2005)

細讀該定義 , 有幾個關鍵概念將在以下分別說明 :「組成成分」、「複雜系統」、「互動」、「直接」、「固定」、「連帶變動的通則」。

首先是組成成分。Glennan 認為機制內有兩大要素，一些組成成分（parts）和這些組成成分間的互動。這些組成成分必須是物件（must be objects），且這些物件有相當高的穩定性（robustness or stability），也就是說在沒有干預的情況之下，組成成分的特性必須維持相對的穩定，另外，通常這些組成成分都在空間占有一個位置（spatially localized）。

第二個關鍵概念是複雜系統，在 Glennan 的說法裡，機制便是一個系統。一複雜系統（機制）可做出不同的行為，當我們要把這系統分解成各組成成分時，必須要看你所考慮的行為為何。例如 : 心臟可以算是推動血液和製造聲響的系統（機制），當我們分解心臟這個系統時，會因為心臟做為一個推動血液的機制和做為一個發出聲響的機制，兩種機制行為的不同，而有不同的化約方法。

第三個關鍵概念是互動。機制被組成成分間的互動所操作，機制的行為，便是全體成分互動的結果。互動指的是一種場景（occasion），在此場景下，一個組成成分特性的改變 , 會帶來其他組成成分特性之轉變。例如 : 在一個時鐘機制裡，一個齒輪（組成成分）位置（特性）的變動，會使得和它連結的齒輪（另一個組成成分）的位置也發生變動。

互動是個因果概念（notion），必須用對立事實的真實性（the truth of certain counterfactuals）來瞭解其存在。這些互動能用直接、固定、連帶變動的通則化（invariant，change-relation generalizations）來訂出，這條守則（stipulation）目的便是相當於去捕捉相關的對立事實的真實性的宣告（counterfactual truth claims）。

所謂直接（direct）這一個守則，是要把「一組成成分的改變，會直接帶來其他組成成分的改變」者，列為有互動關係，排除那些「要透過中介組成成分，才會使其他成分改變的案例。」「也就是形容機制內一成分必須是下一成分的直接作用者（actor）。若是機制內有三個成分，有下列的序列：A-B-C，則 A、C 之間不算有直接互動。A、B 間或 B、C 間才能稱之為有直接互動關係。

所謂連帶變動的通則化（Change-relating generalization），指的是兩個或兩個以上變數的相關，在此相關中，任何改變其中一變數的操弄，會連帶使其他變數發生改變。例如：波爾-查理定律（PV=nRT）便是一個連帶變動的通則化，一個變數例如：密閉容器內氣體體積的變化，會使得另一變數如氣體壓力發生改變。

所謂「固定」（invariant）指的是在這種互動之中，一組成成分某種特性的改變，會固定使得下一成分有某特性的改變。例如：波爾-查理定律中，體積和壓力的互動關係是固定的。

為何 Glennan 會用直接、固定、連帶變動的通則，這幾個術語來界定互動的

特性呢？據 Glennan（2002）和 Tabery（2004）指出 Glennan 的早期版本，把機制定義為：「造成一行為的機制，是一個複雜系統，此複雜系統接著一堆組成成分依著直接因果律的互動，而產生該行為。」(A mechanism underlying a behavior is a complex system which producing that behavior by of the interaction of a number of parts according to direct causal laws.)(Glennan , 1996 , p52)。此定義是用直接、因果律（direct，causal laws）來界定機制內成分間的關係，而後期版本之所以不用「因果律」一字，是因為避免哲學上對「因果」一字有著的沈重負擔。把「因果律」一詞改用「固定、連帶變動的通則」，是借用自 Woodward 的想法。

Woodward（2000）在他「Explanation and Invariance in the Special Science」這篇文章中，分析了那些並非基於定律來解釋的特定科學（如生物學、社會學），指出這些科學不同於傳統其他利用定律或通則來解釋的科學，它們不用哲學上定義嚴謹的定律，也能做出成功的解釋，那要如何去評價其解釋的成功呢？Woodward 認為答案來自「固定」的概念，此概念是基於兩個緊密相關的概念：和連帶變動潛能（intervention and a change-relating capability）。Intervention 是一個理想化的操弄（idealized manipulation），可應用於決定 X 的改變是否因果相關於另一個變數 Y 的改變。連帶變動潛能會在 X 被改變時出現，且被 Y 所經驗到。「固定」的概念便是基於這種 intervention 的理想感。當其他情況改變時，兩個變數間的因果通則仍能保持的話，就可稱之為「固定」。Glennan 的所描述的「互動」提到「互動是一個事件，在此事件中，一成分的改變，藉著其本身的『連帶

變動能力』，使得另一成分特質發生改變。」，而兩互動成分間的關係，便用「固定」這個概念加以捕捉。

為了能更瞭解 Glennan 的機制概念，以下引用 Tabery（2004）的光合作用之光反應例子，光合作用的光反應是一種把光能轉變成化學能的過程，在葉綠囊膜上有光合系統II，當它吸收光能後，會把自身的電子激發出去，被電子載體所接收，電子依序在數個電子載體（電子傳遞鏈）傳遞，由高能階到低能階，放出的能量使得氫離子被積聚在基質中，使得葉綠囊膜兩側有電子化學滲透壓差，當質子順著濃度差，由基質進入葉綠囊膜內時，便合成出 ATP。此過程有許多的「互動」，Tabery 僅以下面兩個互動為例，來描述 Glennan 的互動定義：光合系統II和其內的電子間，電子傳遞鏈和葉綠囊膜之間。Tabery 列出以下式子來說明：

第一個互動：光合系統II和其內的電子間

式子 1：光合系統II（T1，E1）→光合系統II（T2，E2）→ 電子（T1，P1）→電子（T2，P2）

此互動的成分為：光合系統II和電子，當光合系統II特性改變時（由時間 T1 時的能量 E1，轉變為時間 T2 的能量 E2），會使得電子的特性改變（由時間 T1 的位置 P1，轉變為時間 T2 的位置 P2），這兩種成分的連帶變動是直接且固定的。

第二個互動：電子傳遞鏈和葉綠囊膜之間

式子 2：電子傳遞鏈（T1，E1）→電子傳遞鏈（T2，E2）→葉綠囊膜（C1，

T1）→葉綠囊膜（C2，T2）

此互動的成分為電子傳遞鏈和葉綠囊膜，當電子傳遞鏈特性改變時（由時間 T1 時的能量 E1，轉變為時間 T2 的能量 E2），會使得葉綠囊膜的特性改變（由時間 T1 的電位 C1，轉變為時間 T2 的電位 C2），這兩種成分的連帶變動是直接且固定的。

光合系統II和其內部的電子間，電子傳遞鏈和葉綠囊膜間，其間的相關都是固定的（invariant），且光合系統II和電子傳遞鏈都具有連帶變動潛能（change-relating capability），他們特性的轉變，會分別使得電子和葉綠囊膜的特性跟進轉變。

Railton/Salmon 和 Complex system 兩種看機制的角度有何不同呢？Glennan 認為有兩大差異。第一個差異是前者把機制視作是交互連接事件的序列（sequences of interconnected events），而複雜系統觀是把機制視作是一個物件或事物（objects or things）。換句話說，Railton/Salmon 在講機制時，其實是在講導致一特定事件發生的事件網或鏈，例如：他們會把導致特定窗戶破裂的事件鏈：小孩打球、球打到樹反彈、反彈的球撞到窗戶、玻璃破掉，視作是一個機制。這種機制裡，有穩定得可稱為物件的本體：小孩、球、樹。但它們之間的關係，並未形成一個穩定的足以稱之為物件的架構。而複雜系統觀之下的機制，除了組成成分是物件外，這些組成成分間的關係，也穩定得可以稱之為物件。機制是穩定

而有序的，組成成分有序的編排，使整個系統成為有著穩定的配置的整體，其配置使之不單在於某一特定時空，如手錶、細胞、器官等，都算是一種機制。

由於複雜系統機制的行為穩定，所以會讓我們有所感覺：這些行為是普遍的（general），時鐘會無窮盡地持續它週期性的移動。另外，我們的世界可以說許多套機制所組成的，例如：人類的神經系統包含有許多的神經元，屬於一個機制，地球上有許多人，也有許多不同的生物，但大家的神經都有類似人類神經的結構，所以，我們可以發展出含攝數不盡神經事件的神經通則模式（general model of neurons）。Glennan 也因此發展出他所謂的機制解釋（mechanical explanation），容後再敘。

Railton/Salmon 和 Complex system 兩種機制觀的第二個差異是：互動的處理（treatment of interaction）。機制的組成成分是物件，而物件以 Salmon 的觀點來看，可以視作是因果過程，組成成分間的互動是這些因果過程間的交叉點，把變動引入這些過程的永存結構（例如：改變這些組成成分的特性）。但在這些互動的解釋上，兩種機制觀出現了差異，Glennan 用直接、固定、連帶變動的通則來定義互動；而 Salmon 用守恆量的交換（exchange of conserved quantities）定義之，例如：兩個碰撞分子的互動是它們交換了守恆量（如動量）。Glennan 認為用守恆量的交換來定義互動，好處是可以透過物理理論而非只是利用語意學來定義之，但缺點是無法揭露較高階實體間出現的一些互動類型，彼此間的相似性。例如：現代透過電話交換訊息的機制，人屬機制內的組成成分，電話呼叫屬於成分

間的互動，但這個互動中交換的事物（例如：資訊），很難用物理學的守恆量來化約之。

小結：Glennan 的機制觀，自命為複雜系統觀，他認為機制是一個複雜系統，在此系統中，有諸多成分參與，兩兩成分之間有直接的互動，互動的模式是當一個成分特性發生改變時，會使下一個成分發生固定的特性改變。在一個機制（系統）中，各成分間這種直接、固定、連帶變動的通則，會使整個系統做出固定的行為。（Tabery，2004）成功的把這種機制觀套用在光合作用的例子上。但這並不是科學哲學界唯一的機制觀，以下將介紹另一主流：MDC 的二元論。

（三） MDC 的二元論

MDC 指的是 Machamer，Darden，and Craver 等三個人的合稱，他們在 2000 年，於 Philosophy of science 這篇期刊中，發表了 'Thinking about mechanisms'這篇文章，對機制下了新的定義，引起了該社群的一些討論。MDC 認為機制是用來解釋某一現象是如何出現或某一重要過程是如何運作，他們定義機制為：

> 機制由實體（entities）和活動（activities）所共同組成，這種組合產生了由起點，經中繼到終點的規律改變。（Mechanisms are entities and activities organized such that they are productive of regular changes from start or set-up to finish or termination conditions.）

MDC 認為自己屬於二元論者，認為討論機制時，必須同時考慮實體和活動

兩種元素。他們進一步說明，所謂的活動是改變的製造者（the producers of change），而所謂的實體是從事這些活動的事物（the things that engage in activities）。活動之產生，需要實體具備某些特質。MDC 舉了神經傳導的例子來說明其機制的定義：突觸前神經元分泌神經傳導物質，擴散通過突觸間隙，附著上突觸後神經元的受體上，使得突觸後神經元衝動。在此機制中有許多實體，其中兩種：神經傳導物質和受體，會有鍵合（bind）這項活動，而此活動的產生是因為這兩個實體有著某種結構特性和電荷的分佈。實體通常必須有適當的定位、架構和方向（appropriately located，structured，and oriented），而實體所從事的活動必須有時間的順序、速度和持續期（temporal order , rate , and duration），例如：兩個神經元必須靠得很近，才能讓神經傳導物質能夠擴散過去。所以 MDC 對機制另有一較口語化的定義：機制是一系列的實體活動，會以規律的方式帶來某一最終狀況（A mechanism is the series of activities of entities that bring about the finish or termination conditions in a regular way.）（Machamer et al.，2000）P7

機制是固定的（regular），在相同的情況下，機制總是以相同的方式運作，機制之所以是規律的，是因為階段之間具有 MDC 所謂的「生產性的延續」（productive continuity）。什麼是生產性呢？MDC 其實未對此下詳細定義，但稱生產性為「一種型式的原因」，可以使事情由其他事情中發生而來（a type of cause which makes things up from other things）（Tabery，2004）。若能完整的描述機制，便會發現由起點、中繼到終點的過程中，可以展現出沒有空隙的生產性延續。生

產性延續可以使得人們理解階段之間的連接，若機制用 A→B→C 的基模來表徵，則所謂的「延續」可由這些箭頭來表示，透過箭頭所表徵的活動，可以看出其說明（the continuity lies in the arrows and their explication is in terms of the activities that the arrows represent）。若有箭頭漏失，也就等同於無能力去闡明一個活動，這樣會使得機制的生產性延續出現裂隙。

除了活動之外，機制中另一重要組成是實體（entities），因此 MDC 認為自己主張的是二元論，他們由哲學的三個需求：本體的、描述的、知識論的適當性，（Ontic adequacy，descriptive adequacy，epistemological adequacy）來論證其說法的合宜性（Machamer，2004； Machamer et al.，2000）。

1、 <u>本體適當性（ontic adequacy）</u>

所謂本體適當性，指的是 MDC 的機制二元觀，所舉的實體和活動，是否真有「存在」的必要性和主體性在本體適當性上，在此 MDC 首先將討論為何機制要同時包含有「實體」和「活動」，因為兩種屬於不同本體。他們特別強調其他學者所未注意到的「活動」，把「活動」的地位提昇到與「實體」並列，進而肯定其二元說的適當性。

MDC 認為其想法兼物質本體論[1]和過程本體論（substantialist and process

[1]哲學字典裡譯為實體論，但此處為和相對立的過程本體論做區別，因此翻譯成

ontologies，後來在 2004 年改用 substance ontology and process ontology 的字眼）兩種角度。此處所謂的二元，分別是實體和活動（entities and activities），為何不直接用物質和過程呢？是因前兩者在歷史和哲學上較少預設（presuppositions）（Machamer，2004）。筆者整理了物質本體論和過程本體論的定義，以及 MDC 對於此兩學派的優缺點評論，如表 2-2-1。

MDC 認為機制是會做事的（doing things），若照物質本體論的角度看機制，會只注意到構成機制的實物和這些實物的特性，如此過於靜態，而不能捕捉到機制中應有的「做事」的主動性。MDC 批評 Glennan 這位物質本體論者，雖然也提到互動和狀態轉移（state transition），但 MDC 認為用實體的活動（activities）和這些活動如何造成下一階段組成物的改變，更能夠說明所謂的狀態轉移。相對的，過程本體論者則是把活動實體化，也試著把實體化約成過程（reify activities and reduce entities to process），MDC 認為過程本體論者因為太注重過程的重要性，而把它們視作是一個本體單元，這種舉動大有問題。例如：就分子生物學和生物化學來看，沒有一項活動不屬於實體的活動。因此，物質本體論注意到機制中實體和其特性的重要，過程本體論者注意到「主動性改變」（active kinds of changing）的重要，但單從物質本體論或過程本體論的其中一種角度，都不足適當的說明機制，必須要同時納入實體和過程兩種角度。

物質本體論，會更令人瞭解。

MDC 認為活動雖不是實物或物質實體，但仍可被視為是一個實體，傳統上我們會用特性和時空區位來定義出一個單一實體。活動的確也可以用其時空區位和它的特性如速度、持續期、進行該活動的實物類別或特性類別等，來把它定義出一個實體。例如：活動的特性可以有操作的模式（直接接觸或遠距吸引）、方向性（吸引或排斥）、能量需求（放能或耗能）、活動的影響範圍（電磁力影響範圍大，核力影響範圍小）。更清楚一點說，機制包含有兩大類實體成分，一個是物質實體（前面所稱的實體），一個是活動實體（屬於過程實體）。

表 2-2-1 物質本體論和過程本體論的定義和比較

學派	定義	優點	缺點
物質本體論	把注意力放在實體和其性質上，相信活動的討論可被化約成性質和其轉移的討論。因此此派學者會說實體有能力或傾向去行動（capacities or dispositions to act）。也就是說，物質本體論者不會去特別注意到實體做了什麼事，他們只注意到實體的狀態改變，以	適當的強調了機制中，實體和其特性的重要性。的確神經傳導過程的機制裡，神經傳導物和受體，這兩個實體和他們的結構特性，都是	不能不考量活動的重要性，因為若要找出實體的特性，必須先去找出該實體所投入的活動為何？例如：要知道阿斯匹靈有抒解頭痛的特性，必須先看到阿斯匹靈有抒解頭痛的活動。因此單用實體、特性、

	及這個改變造成下一個實體的狀態有何改變，並用互動來形容兩種改變的相關，而不單獨考量前一實體為下一實體做了何事。Glennan 便是一位物質本體論者，他討論實體的互動或其狀態轉移。	本機制中不可或缺的	互動、輸入輸出、狀態改變，並不足以描述機制，因為機制是主動的做事的（do things actively），必須用實體的活動來描述較適當。
過程本體論	把活動具體化，且試圖把實物化約成過程。也就是不需考量實物，因為他只是過程的一部份。單用過程就可以取代這些實物的地位。事實上過程就是唯一存在的實體。他們藉著把實體主動的過程視為一本體單元，而宣稱了主動過程的重要性。	看到了主動性改變的重要，彌補了物質本體論者只注意實體和實體的特性，未注意實體做了何事的缺點。	沒有過程能脫離實體，尤其在神經生物學和生物化學中，凡活動必有實體參與，沒有無實體之活動。

瞭解了物質實體和活動兩種本體，共同構成機制的必要性之後，那「機制」呢？我們要如何辨識出一個機制的存在？以及這一機制和其他機制有何不同呢？MDC 說：機制可用以下三點來找出和定義出（identified and individuated）。

（1）構成機制的活動和實體（activities and entities that constitute them）

（2）機制的起點和終點（their start and finish conditions）

（3）機制的功能性角色（their functional roles）

此處所謂的功能是一機制中，其活動和實體所扮演的角色，通常功能被視為是實體所擁有一項特性或能力，如阿斯匹靈可以抒解頭痛、心臟可以輸送血液。但正如 MDC 所舉的例子：「並非青黴素殺死了細菌，而是青黴素所做的工作殺死的細菌」，所以 MDC 認為最好把功能看成是一種活動，是每一個實體對整個機制之所以運作，所做的貢獻。整個機制的活動，相當於它的功能。因此慣用的說法要加以改變，例如：「心臟可以輸送血液」要改成「心臟的功能是可以輸送血液」，如此說法可以比較讓我們意識到活動的存在。

活動是受到實體和實體的特性所影響，相反的，活動也決定出實體的特性為何。也就是說，實體和其特性決定了他們能做什麼活動，反之，各種活動本身的特殊性，也使得具備某些特性的實體，才能做為該活動的基礎。活動與實體本身是相關的、互依的。因此要適當地描述機制的本體，必須同時考量到實體和活動兩者。因此 MDC 自居為二元論者：機制由實體和活動共組成，以上談的是二元論可以同時捕捉到物質本體論和過程本體論兩派的觀點。

機制的兩個組成：「實體」、「活動」，前者的地位毫無疑問，Glennan 也強調了它的存在（只是他用組成成分'parts'一詞），但後者卻是 MDC 所獨有且強調

的。所以 MDC 特別花了很多篇幅（Machamer , 2004； Machamer et al. , 2000），來說明我們需要「活動」來說明機制，他們詳細了分析「活動」以展示出它的規律性和需要性，進而強調二元論的本體適當性。例如：Machamer（2004）便在闡釋活動與因果之關係，進而申論活動有其獨立的地位（status），他提到活動有生產性與非生產性之分，有一些獨特的特性是物質實體所無（如速度、持續期、強度等），可獨立出物質實體之外，例如：「跑」既不專屬於人，也不專屬於「狗」。活動使得物質實體呈現動態（或主動），也因此使物質實體表現的像因果媒介（causal agents），這雖然會使我們把活動誤解為物質實體的一項特性，但正如前面提到，活動可獨立於物質實體之外，例如：我們要先經驗物質實體的破裂（breaking，也是一種活動），才能理解此物質實體是可破裂的（breakable，一種特性）。這些使我們理解「活動」有其本體的獨立性（ontological independence）。

2、 <u>描述適當性（Descriptive adequacy）</u>

所謂描述適當性指的是，MDC 所用的機制二元定義，是否真能描述一個真正的科學機制。MDC 首先以科學理論為例，說明其二元機制的描述適當性，再進而深入探討機制的四項特性。MDC 是以神經細胞突觸間訊息傳遞為例，來說明其二元論的適當性。在此先簡單介紹此一生物概念，突觸前神經元（此機制的一實體）的電位改變（該實體的活動），使得軸突末稍分泌出化學物質（神經傳導物質，也是本機制的一實體），此化學物質擴散（該實體的活動）通過突觸間

隙，附著在突觸後神經元的受體上，使該神經元發生神經衝動。MDC 稱我們常用 2-D 空間圖像來表徵出一個機制內各實體、實體特性和活動。這種表徵方法可以展現出機制內各實體的空間相關與結構特性，圖像內的箭頭通常表徵出那些造成改變的活動，這些圖像表徵會比文字敘述更易讓人瞭解機制的特性。

機制具有什麼特性呢？MDC 是第一位分析機制有何特性者。他們認為機制具有以下特性：連續性、階層性、特定的基礎點、由下而上、由抽象到詳細。

機制是個連續性過程，但為便利起見，常視為一系列分離的階段或步驟。一個機制的描述，是一種始於起點（start or set-up conditions），經過中繼狀況（intermediate conditions）而止於最終狀況（termination conditions）的理想化描述。各階段的狀況可能是上一階段的產物，階段間都是動態的過程，但科學家會理想化地視同時光靜止般來描述之。結構特性、空間相關、導向（orientations），都是描述實體如何完成活動的重要依據，在所有相關的實體和特性之間，有些對描述下一階段如何進行特別重要，也就是造成下一階段改變的是機制內整體的一部份，而非外於機制的「輸入」，以此敘述方式，可以避免談到「輸入」、「輸出」、「狀態改變」這些詞彙，而可改用「起點狀況」、「中繼狀況」、「最終狀況」等。MDC 認為用輸入輸出並不妥當，因為在起點時，許多特性都是機制的一部份，而不是由外「輸入」機制。再以「最終狀況」而言，一般常用終點或終產物來形容之，但此一說法會有「輸出」此意的誤導。例如：神經細胞突觸間訊息傳遞此一機制，其最終狀況應是突觸後神經元的膜外鈉離子湧入，使得膜電位上昇。但

若用「輸出」此語，會讓人有某東西被釋放出來的誤解。

機制是有階層性的（Hierarchies），且常是多層級（Multi-level），這些階層組織應被視為是大包小的階層（part-whole hierarchies）。低階的實體、特性和活動，加入一些條件，便成為製出高階現象的機制的成分。例如：鈉通道的活化是去極化機制的一部份，而去極化是化學神經傳遞機制的一部份，而後者又是中樞系統得以運作的一部份。

機制是由下而上層級的組合，因此當我們看機制時，必須先決定自己所要的起點為何，MDC 稱此為基礎點（Bottoming out），指的是何層級的機制是你要的最低階層級。基礎點是可以上下變動的，會隨著討論主題、對象，科學史的演進而改變。通常被討論者選用的基礎點，是該點的組成成分，對於該領域、該科學社群是相對無疑問或相對基本的。例如：神經生物學裡會討論到的「實體」，其基礎點通常是大分子、小分子、離子的描述，不需去考慮原子層次，而神經生物學裡討論到的「活動」，其基礎點則有以下四類：

幾何力學：geometrico-mechanical: fitting，turning，opening，colliding，bending，and pushing

電化學 electro-chemical: attracting，repelling，bonding，and breaking

energetic: thermodynamics 造成的 simple diffusion

electro-magnetic：如 the conduction of electrical impulses by nerve cells

其中在分子生物學裡比較常見的基礎活動有二：幾何力學，如酵素和反應物之間的鎖與鑰匙結合；電化學，如共價鍵結和氫鍵（Darden，2002）。

科學家們通常不會完整詳細地描述機制的每個層級，而常會用基模和骨架（Mechanism schemata，and Sketches）的方式表示，所謂的機制基模，指的是對一機制形式的抽象化描述。例如：蛋白質合成機制的基模為：DNA→RNA→protein。MDC 指出這邊所謂的抽象不應該和廣性或通則性（scope or generality）的程度混淆，它指的僅是說明詳細的程度，說明的越清楚則越不抽象，越不詳細則越抽象。因此，機制基模可表現出不同程度的抽象，單賴其內包括了多少細節，以蛋白質合成機制而言，我們可以因應討論的對象，決定要談到的抽象程度，例如：決定要談多少參與的胞器和酵素。機制基模有時也會被生物學者稱之為「理論」，例如：剛才的蛋白質合成機制基模，常被稱為蛋白質合成理論，不過其廣性比通則少（generally less than universal，scope）。機制骨架可以和機制基模來做個比較，前者也是一個抽象化描述，但指的是有些實體或活動尚未找出的機制，或機制內各階段尚未完全查明的機制。當每一階段的連接中出現空隙或是黑盒子，也就是科學家尚未能把機制的細節補足，則稱之為機制骨架。MDC 認為機制骨架可以指出科學發展中下一步應努力的地方，例如：說把這些空隙補足，來完成一個機制基模。換句話說機制骨架是未成熟的機制基模，它可能被捨棄，或進一步變成一個基模。

3、 知識論適當性（Epistemic adequacy ）

所謂知識論適當性指的是，MDC 的機制二元觀是否符合我們認識世界的方法,若能符合則二元論有知識論適當性。MDC 指出當代的機械世界觀(mechanical world view)是一種有關世界要如何被瞭解的信念 , MDC 認為要把現象描述得令人理解 ,「活動」是個必須物，一個機制的可理解性，可以用一領域某一基礎點的實體和活動描繪出來。機制的敘述表現出事物工作的可能性、合理性、真實性如何（how possibly，how plausibly，or how actually things work），可理解性並非來自解釋的正確性，而是來自解釋項（例如：起點狀況）和待解釋項（最終狀況）之間相關的闡釋。MDC 認為不應該遵循休謨和邏輯實證者的角度，把機制（或活動）化約到規則性，也就是用最底層的實體或活動來解釋最終狀況為何能生成。解釋應該要涉及去揭露生產性相關（productive relation），無論是蛋白質合成機制或神經衝動傳導機制，都不是用規律性來解釋，而是用維持這些規律的活動來解釋。

MDC 認為人類的觀察，是人類理解事物的重要來源，除了實體可以被我們觀察到之外。我們的確也可以看到「活動」，例如：移動和碰撞。人類的動覺感和本體感，也讓我們經驗到如推、拉、轉動等之活動。這使得由認識論的角度來說，MDC 的「實體」、「活動」的機制二元觀，有了適當性。

另外，在對世界的自然語言描述上，「活動」也是必須的，自然語言中需要

動詞，而某些動詞便可以說是起因或活動（cause or activities），也就是說，活動通常會以「動詞」或「動詞形式」（分詞或動名詞）來被引用。學習語言時，動詞的學習和名詞的學習可互相獨立。皮亞傑也提到小孩子的知覺發展是先有感官動作期之後，才有物體永存的概念，發展感官動作期的技能，其實便是進行「活動是什麼」的學習。在認知心理學的研究中，也顯示動詞可以任讀者判斷文章內什麼是最重要的因果相關，運用主動式動詞的文章比運用被動式或副詞的文章更易學習。因此由知識的發展和學習可知，活動有其知識論上的獨立性（epistemic independence）（Machamer，2004）。

MDC 認為雖不敢說在所有領域，但至少在神經生物學和分子生物學，這種機制描述法，提供了我們理解的可能性，也就是說經由把「實體」和「活動」的精緻化，提供我們理解某些現象是如何被製出的。

除了 MDC 本身使用神經傳遞機制和蛋白質合成機制的例子之外，我們同樣參考 Tabery（2004）同樣用光合作用光反應的例子，來解釋 MDC 的二元機制觀，以更清楚地和 Glennan 的說法加以比較。

式子 3：光合系統II（T1，E1）→光合系統II（T2，E2）激發〉 電子（T1，P1）→電子（T2，P2）電子移動到電子傳遞鏈內〉

基本上和 Glennan 的機制式子差不多，但 MDC 會在兩方格的中間箭頭上，加上「激發」，這個字眼代表強調了光合系統II的主動生產性活動，也就是強調了

活動是變動的製造者（the producers of change）。光合系統II和電子是實體，光合系統II的「激發」這項活動，使得電子發生了變化。另外既然要強調實體有生產性活動，所以在電子這個實體之後，也加了一個箭頭，代表電子做了「移動到電子傳遞鏈內」這項活動。

式子 4：電子傳遞鏈（T1，E1）→電子傳遞鏈（T2，E2）唧出→葉綠囊膜（C1，T1）→葉綠囊膜（C2，T2）推動質子移動→

同理，在式子 4 中，兩方格的中間，要加上「唧出」這項活動，代表電子傳遞鏈把質子運送到葉綠囊膜內，使得葉綠囊膜內外電荷分佈不平衡，而這營造了質子位能，使得質子被推動，最後產生 ATP。式子 4 裏也可看到，除了實體之外，另外也強調了實體進行活動。

4、 小結

MDC 為機制下了完整清楚的定義，把機制內的組成，劃分成物質實體和活動兩平行對等的本體，強調活動的重要性。且不僅由科學實務中科學史的探討，申論其二元說的適當性，也從哲學中的本體論、知識論，論證其理論的正當性。MDC 除了描述機制的成分外，也敘述了機制的特性，包括機制是有階層性的，可視需求而決定要從何階層討論起。機制也是一個序列性的過程，因此若中間有不能填上的空洞，也代表了科學家要努力的地方。

（四） Glennan 和 MDC 兩派的比較

談完兩派對於機制的定義之後，接下來將對兩派說法做個比較，此處首先將談論雙方分別對於對方的看法，接著討論 Tabery 之試圖把兩派加以合併的說法，最後列出筆者在閱讀有關機制的諸多文獻之後，對於兩派比較的一些想法和整理。

1、 MDC 對 Glennan 的看法

MDC 對 Glennan 的批評，是針對他早期的版本所做出的機制定義，這是由於 MDC 的文章完成於 2000 年，而 Glennan 的修正版本在 2002 年發表。MDC 主要有兩個批評焦點：一是「因果定律」，二是「互動」。

Glennan 早期機制定義為：造成一行為的機制，是一個複雜系統，此複雜系統接著一堆組成成分依著直接因果律的互動，而產生該行為。MDC 認為 Glennan 使用「定律」這個概念，根本上便有錯誤，因為以 MDC 所看到的例子中，許多活動之運作，極少所謂的基本因果律，例如：歐姆定律是可以用來描述神經傳導機制中活動的特性，但沒有定律可以用來描述蛋白質附著在 DNA 上的規則性。

MDC 稱 Glennan 為互動學派（interactionist），認為他們這種注重定律和互動的說法，會忽略掉 MDC 所注重到的「活動的生產性本質」（Machamer et al.，2000； Tabery，2004）。換句話說，MDC 認為機制內實體的活動、此活動會如何影響下一階段的實體，都需載明清楚，不可以像 Glennan 只用「固定、連帶變

動的互動」一詞含糊帶過，這樣會使得機制內有著黑盒子存在。

2、 Glennan 對 MDC 的看法

Glennan 面對 MDC 批評時，態度主要是「從善如流」。在 Glennan（2002）裡，因應 MDC 對其早期定義裡出現「因果定律」一詞的批評，而修正了其原有的機制定義，避開此詞。在 Glennan（2005）裡發展機制模式（mechanical model）時，也引用了 Machamer et al.（2000）文章中所描寫的機制特性：機制是有階層性的。同時認為自己的機制模式就是 MDC 所謂的機制基模，不過 Glennan 指出他基於以下兩點理由，而寧願用「機制模式」而不用「機制基模」。首先最重要的原因是科學家通常用「模式」而非「基模」一詞，其次 MDC 除了用基模外，也用架構（sketch）一詞，架構是不完整的基模，也就是成分未全部找出的基模，基模則有不同的抽象程度，隨解釋的對象而變。Glennan 認為這種基模/架構二分法，會把實際上一個模式連續性的塑造過程，硬生生弄成兩個步驟。這點算是 Glennan 對 MDC 的唯一批評。

3、 Tabbery 的整合

Tabery 認為 Glennan 和 MDC 的說法大同小異，兩者不僅部分淵源相似，差異也不過是因所關注的焦點不同所造成，且雙方可以互補長短。

他說不僅 Glennan 的機制觀念衍伸自 Salmon，MDC 亦同，MDC 認為 Salmon

的說法是無法跳脫出基本物理的背景。面對此問題，Glennan 的作法是修正「互動」的意義，而 MDC 的作法是用「活動」一詞取代「互動」。

Tabery 認為 MDC 和 Glennan 的內涵相同，因為 MDC 的定義裡，「活動」是個關鍵，一個機制呈現出來的現象，便是來自舊實體的舊活動，造成新實體的新活動。MDC 自己稱「活動」有許多，但只有部分具有「生產性」，才能造成機制。但 Tabery 認為沒有一個「生產性活動」不是「特性轉變的互動」，也就是說每一個 MDC 所謂的「生產性活動」都是 Glennan 所謂的「特性轉變的互動」，至於非生產性的活動，因為不會造成機制的發生，也就不再討論範圍。

Tabery 指出或許有人想引用以下例子，來反駁上述的說法，環己烷構型的轉變，由「船形」轉變成「椅形」，這個轉變似乎是一個沒有互動的活動，環己烷會主動完成這項動作，但問題來了，環己烷的這個活動算是生產性的嗎？的確可以說船形環己烷製出了椅形環己烷，但環己烷本身似乎沒有一個分離的、自我啟動的行為（isolated，self-activated behavior）。環己烷分子本身是可以稱之為一個機制，不過必須用原子層次的互動來描述，船形轉變成椅形是因為氫原子的互相排斥所造成，氫原子間的互動使得環己烷的解構朝向較穩定的椅形。只有透過把環己烷本身視為機制，且用氫原子間的互動來瞭解之，我們才能看出環己烷分子行為的生產力（productivity）。

Tabery 認為要瞭解機制，必須同時需要互動和活動兩種元素，而非僅是從兩

者中取一。若由 Glennan 的定義，一個成分特性的改變，(直接、固定）造成另一成分的特性轉變。那我們要問特性轉變是如何完成的？特性轉變做了何事，使它能帶來其他成分特性的轉變？要回這些對 Glennan 的質疑，並需求助於 MDC 的「活動」一詞，「活動」一詞回答了改變為何發生及其如何被產生，對 MDC 而言，活動便是一個產生的動態過程（the dynamic process of bringing about）。反之，Tabery 指出機制行為應該用能描述該行為的字眼，「互動」便是一個「活動」的字眼。「互動」和「活動」是緊密相關的，如果只說「互動」會造成一個黑箱，加上「活動」，可以把此黑箱打開，讓現象可被理解。但單說「活動」，不能捕捉機制的行為，活動一詞會忽略掉機制中變動過程的一些重要特性，例如：在前面的式子 4 中，電子傳遞鏈「唧出」質子，會造成質子的推動力，但這個生產性活動，只限於特定機制中，如果沒有加入 Glennan 在互動中所強調的特性轉變（指葉綠囊膜內外電位由分佈均勻至不均勻），則該生產性活動不會發生。

Tabery 認為因為 Glennan 和 MDC 分別從兩不同哲學出發點來發展其對機制的看法，因而兩派獲得不同結論。Glennan 較專注於因果和解釋的傳統哲學議題，他想找出能導致成功解釋的機制因果內部的元素為何？而 MDC 卻較是從科學的實務出發。倒也不能說 Glennan 未注意到科學實務，而 MDC 避免討論因果，只是雙方的專注方向不同。Glennan 因為對因果有興趣，於是關心機制中因果的定位，經由特性改變的狀態轉移，提供出了因果的定位。MDC 的興趣則是在科學實務，強調科學家的事實，除了研究實體外，也常研究動態過程如如蛋白質合成、

神經傳遞。不過，Machamer（2004）可能是呼應 Tabery 的批評，花了一些篇幅指出機制和原因的關係，Machamer 認為要參考一些哲學家的說法，把「因」視作是一種總稱，就如同「有機體」一樣，既沒辦法也不需要為此總稱訂出一個理論。問題不應在為「因」找出適當的本體性和約定性的定義，而應是在找出什麼是可能的、合理的、實際的在一個機制中運作的「因」，他認為我們要找「因」，便是要找出造成一個機制的實體和活動。也就是說科學家在去探索事物如何運作時，其實便是在釐清（uncovering）一個機制，看看是何物參與此機制，且此物做了何事。換句話說，釐清一個機制便是學習何為「因」的過程。

因此，兩派應該加以整合，MDC 的「活動」概念應該很容易地可於整合至 Glennan 的「互動」中。新的「互動」定義應為：「互動是一個事件，在此事件中，一成分的改變，動態地造成另一成分特質發生改變。」此處所謂動態地造成，有許多種形式，便是二元論者所謂的「活動」。把兩派整併至少有以下兩好處，一是避免兩派哲學家的對立討論，二是這種整併才能精確看出機制的真正意義。

4、 筆者的看法和比較

筆者比較文獻中兩派說法如表 2-2-2，另外，筆者在此做一些個人的評價，MDC 對於機制的描述較完整而清楚，不僅介紹機制內的組成，也介紹了機制的特性，Glennan 則只說明了前者，對於機制的特性沒有明顯的說明。另外兩派人馬其實對「機制」一詞，應該是有不同的定位。機制有兩個意涵，一是造成某一

現象的內部原因，用此意涵談機制時，其實是在談某一現象的真正「成因」。另一意涵是描述科學現象的理論，用此意涵談機制時，其實是在談解釋某一現象的「理論」。我認為 Glennan 採用前一意涵，事實上也正如前面所談的，他的興趣在承襲哲學中對於因果的探討；而 MDC 採用的是後者，所以他們會去探索現有科學理論發現的過程。Glennan 在 2005 年提出的機制解釋，便應是補原先未注意到後者之不足。

表 2-2-2 複雜系統與二元論，兩派對於機制的定義

學派	複雜系統	二元論
代表人物及作品	Glennan（Glennan，1996，2002，2005）	MDC（Darden，2002； Machamer，2004； Machamer et al.，2000）
定義	早期：造成一行為的機制，是一個複雜系統，此複雜系統接著一堆組成成分依著直接因果律的互動，而產生該行為。 後期：某一行為的「機制」是一複雜系統，此系統可藉一堆組成成分互動，而生出該行為，而成分的互動屬於直接、固定、連帶變動的通則。	機制由實體和活動所共同組成，這種組合產生了由起點，經中繼到終點的規律改變。
組成成分	成分（parts）：其特性可以轉變，此一轉變會使下一成分的特性轉變。	包括物質實體和活動兩者 物質實體（Entities）：具有特性，能做出活動。 活動（activities）：活動具有生產性

		(productive), 一實體的活動能使下一實體發生規律性的變化。
成分間的關係	互動 (Interaction): 機制內成分間的關係為互動 , 一成分的變動使另一成份發生變動的情況。 互動具有三大特性： 直接 (direct): 一成分必須是下一成分的直接作用者。 固定 (invariant): 一成分的改變會固定使下一成分發生一樣的改變 連帶變動的通則 (change-relating generalization): 一成分的改變 , 藉著其本身的『連帶變動能力』, 使得另一成分特質發生改變。」	可分兩種關係 : 物質實體與物質實體間。物質實體與活動間。 活動與實體兩者是相依的 , 實體是進行這些活動的事物 , 因為實體有某些特性 , 所以它可進行某些活動。活動是變動的製造者 , 他使物質實體發生變化。 透過活動 , 前一個物質實體使得下一物質實體發生變化。

續表 2-2-2

概念的由來	哲學中對於因果的探討(專注於因果和解釋的傳統哲學議題， Glennan 想找出能導致成功解釋的機制因果內部的元素為何？) Salmon 的因果連鎖網 互動造成特性改變的轉移 , 這想法來自 Salmon 的恆定量的移轉，互動的固定、及連帶變動能力的特性 , 來自(James Woodward , 2000)	科學實務工作。主要是生物學、醫學領域。 可以從科學史和科學發現的過程找到許多例子。 否定 Glennan 早期定義中出現直接因果律。以及 Glennan 對「互動」的描述不夠。
機制的特性	是一個複雜系統 強調「互動」的特性	機制是個連續性過程。 機制是有階層性的。 當我們看機制時 , 必須先決定自己所要的起點為何。 強調「活動」的本體性
機制的推廣	引出機制模式（mechanical model）（Glennan，2005）	瞭解生物科學相關領域科學發現的過程（Darden，2002）

被批評	早期版本：使用「定律」一詞做為定義的一環，將會限制此定義的適用範圍（Woodward，2002）	無法去說明化學平衡這類機制（例如：環己烷結構式的改變）（Tabery，2004）
	把互動視為是誘導特性轉變的情況，這種說法會忽視它的生產性，也使互動成為無法探索的黑箱（Machamer et al.，2000； Tabery，2004）。	具學科專一性、較不通則化（Jim Woodward，2002）
是否可結合	（Tabery，2004）指出 mechanisms 的完整描述，同時需要互動和活動兩元素，而非從兩者取一。單用互動會造成黑箱，而活動可以打開此黑箱，使現象得以被理解。相反的，單用活動，則不能捕捉機制的行為，照 MDC 所說：活動是變動的製造者。活動是一堆動詞，他可說明怎麼做，但未能清楚標明做了什麼（意即若只有動詞，而無受詞的變動，將難以理解某一「活動」造成的影響為何）此時 Glennan 的互動便可彌補之，因為互動強調了兩成分變動的相關。	

二、機制的運用

當我們瞭解機制的定義之後，接下來應該探討的是，以哲學家對機制的這些主張，可以對科學本身或科學教育者所關心的科教研究和應用有何助益。這一點 Glennan 和 MDC 都有注意到。尤其是 MDC，首先應用機制定義來探討科學史中科學發現的過程，並進一步利用他們的機制定義，解答科學發現的秘密。Glennan 則在 2005 年的文章中，試圖把他的機制定義運用在所謂的機制模式上。到目前為止，筆者尚未發現任何一篇文獻探討「機制」的本質和科學教育的關係，本文中，將對機制在科教的應用做一個初探。

（一）在科學發現上的運用

1、 Darden 的機制基模

Darden（2002）指出科學的發現包括建構、評價、修正三階段，許多科學發現便是在找出某一機制，例如：要解答「生物體內蛋白質如何合成？」這個問題，科學家們最後找到了「蛋白質合成機制」來加以解答。機制的發展，同樣要經過建構、評價、修正三個階段，每個階段都會受限於已知的科學知識，已知的知識如同限制因子，影響每個階段的進展。Darden 認為透過 MDC 的機制定義，配合機制描述要滿足的限制因子，可以協助我們推理出任何一個特定機制。不過機制的發現仍須一些策略協助，她認為科學家去發現一個自然界中運作的機制，和工

程學家設計出一個機制，兩者間十分相似，都可藉由基模具體化、組件集合和前進回溯的鍵結（schema instantiation，modular subassembly，forward/backward chaining)這三種推理策略，來協助發現某一機制。基模是一個機制的抽象型式，具體化便是一個讓基模越來越不抽象，而可應用至某一特定的例子。模組集合是去搜尋各式模組，並將之集合成一個機制。最後，因為機制是一個生產性的連續過程，所以可以順著這個鍊結，由前往後或由後往前，把每個空隙加以補足。本文以科學發現的第一階段：「建構」一個可能又合理的新機制為例，說明這三個策略如何配合機制的定義而應用於科學發現上。

首先回顧 MDC 對於機制的一些看法：機制由物質實體和活動所共同組成，活動是變動的製造者，實體是進行這些活動的事物，活動與實體兩者是相依的，因為實體有某些特性，所以它可進行某些活動。機制是一套由起點到終點的規律變動，每個階段都會引發下一階段的變動，直到最終狀況出現。機制可用基模方式呈現，此基模的詳細程度或層次會因不同科學領域、不同討論對象而有不同。MDC 對機制的這些描述，正是機制之所以能被發現的著力點。因為活動和實體之間有相依性，因此我們可能藉此來做推理，由已知推出未知為何。因為機制內每一階段是連續的規律變動，因此只要某處出現空隙，就表示此處為科學家應努力的方向。因為機制層次的討論基礎點會隨科學領域而不同，如在生子生物學，實體的基礎點通常是分子，活動的基礎點通常是幾何力學或電化學，這可提供一些發現的標的，讓發現者找出機制的詳細內容。

Darden 也列出機制要滿足的一些限制因子，如表 2-2-3，所有的限制因子都在機制的尋找上，扮演了一定角色，而它們也都會成為一個機制的事當描述的一部份。Darden 以蛋白質合成機制的發現史為例，說明本機制的發現過程。現在已知本機制基模為 DNA→RNA→蛋白質，更詳細或更不抽象的內容如圖 2-2-1：

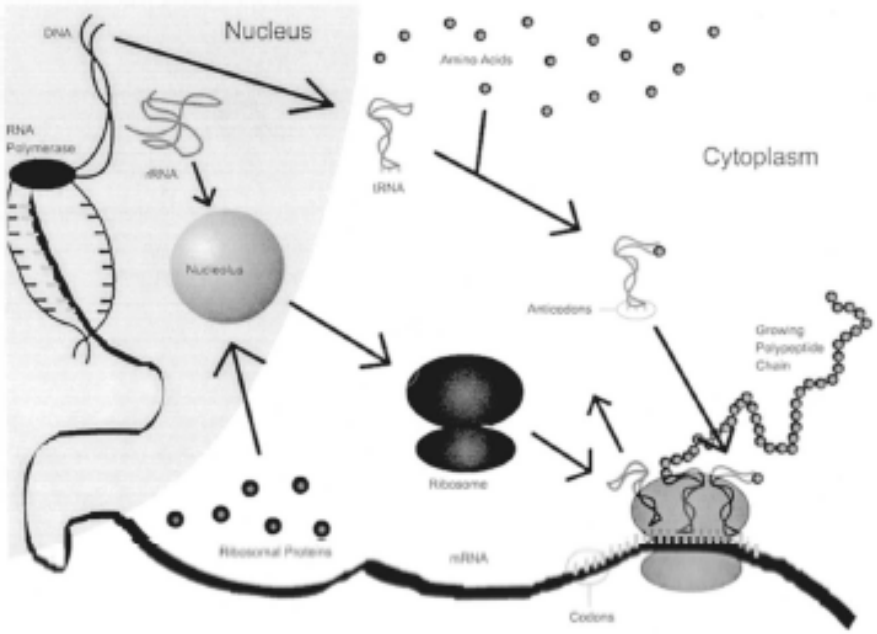


圖 2-2-1 蛋白質合成機制（Darden，2002）

DNA、RNA、胺基酸等都是物質實體，它們的進行的活動有：mRNA 與核糖體間的幾何力學的鍵結，tRNA 與 mRNA 間的氫鍵。本圖可以顯示出成分間的空間相關以及階段間的時間序列。

表 2-2-3 機制發現時，需滿足的限制因子（改自 Darden，2002）

限制因子	細目	說明
現象的特性		機制完成了什麼現象，例如：蛋白質的合成
組成成分	物質實體、活動	要合成蛋白質，必須要有什麼物質實體和活動參與，例如：胺基酸和月太鍵。
	組件	RNA 聚合酉每是一個模件，它的存在代表 DNA 可轉錄成 RNA。
空間	分隔	參與蛋白質合成的物質實體有位置上的區隔
	定位	DNA 位於細胞核內，核糖體位於細胞質內
	結構的	核糖體的特殊結構，可以讓 mRNA 附著上去
	方向	mRNA 密碼子的排列方向，使得特定 tRNA 可以與之形成氫鍵。
時間	次序、速度、持續期、頻率	每一步驟的發生都有特定的次序，並消耗定量的時間。
階層	層次的整合	

機制基模可以有著不同程度的抽象化，添加細節內容進去，可以使基模越來越不抽象。圖 2-2-1 是 DNA→RNA→蛋白質這個式子的具體化，而本基模進一步可用實際的 DNA 序列、互補的 RNA 序列與之配對的胺基酸和因此產生的某特

定蛋白質，來使之更加具體化。這就是建構一個機制的第一步策略：基模具體化。Darden 認為機制有許多種類型，例如：運輸機制、控制機制、修護機制等，以選擇機制為例，此機制裡有不同抽象程度的選擇基模，抽象程度最高的基模為：變異產生、出現挑戰威脅生存、不同的生存優勢。要使這基模較不抽象化，可將之應用在演化生物學，也就是「天擇」，或應用在免疫學的 clonal selection theory。凡是提供進一步的細節，都會造成具體化。再如另一個基模具體化的例子：化學反應基模。最抽象的為：反應物 A + 反應物 B = 產物。較具體化為：反應物 A + 反應物 B + 能量 + 酵素 = 高能的中間產物 + 酵素 = 產物。Darden 研究蛋白質合成機制發現史，指出早期生化學家們想套用此基模，來解決當時的研究問題「生物體如何合成蛋白質？」但此基模因為無法解決核酸的定位：核酸既非產物也非生成物，但對於胺基酸的排序又有重要影響，因此該基模最後被認為無法說明蛋白質的合成機制。

可以引導我們發現機制的第二個策略是組件集合，此策略涉及推理出機制的一群成分，我們可以假設某一機制由某已知組件所組成，也可拼湊一些組件以建構出一個假設機制。以生物學來說，各類型的受體、神經傳遞物、酵素都可算是組件，利用我們對這些組件的知識，可以將這些組件勾串成一個合理的候選機制。一旦一個新的組件被發現，它可打開機制新的假設空間，例如：1970 年反轉錄酉每的發現，便是一例，這類酵素具有利用 RNA 合成 DNA 的功能，這個組件，使得新拉馬克學說（生物可以因應環境改變自身基因和性狀，並將之傳遞

給下一代）成為可能，拉馬克學說這種後天獲得性遺傳或是引導性突變（directed mutation）的機制，因為反轉錄酉每的出現，填補了原有一大空隙（DNA 為何可因應環境做出適當的改變），雖然後來實證發現，反轉錄酉每並未參與此項機制，不過這段科學史，也證明了組件的集合有助於機制的發現，至少可提供出假設性的機制。

引導機制被發現的第三策略是前進回溯的鍵結。一個基模提供了機制的整體架構，組件集合提供了可能運作的成分，使基模被進一步選出，最後科學家要做的是推理出基模內所有的物質實體和活動，前進回溯的鍵結是一種正逆向皆施策略，從機制內已知的部分去推理出未知的部分，由起點往終點，稱前進，反之稱回溯。Darden 認為即使科學家一開始不能規劃出機制的整體基模，仍可利用此策略看出機制由前而後的生產性連續（productive continuity），因為機制內每個階段的物質實體和活動的本質，都可引導科學家去發現前一步或後一步階段。只要知道了假想機制的其中一實體或活動，便可進行此策略。在科學史上，使用前進鍊結的例子如華生和克列克發現 DNA 複製的機制，當 DNA 的雙螺旋結構被解密後，此雙螺旋的特性便可指出它是如何被複製的，DNA 有著極性的鹼基，使得它可以利用氫鍵來維持著這個特殊結構，若氫鍵斷裂，雙螺旋打開，應該可讓互補的鹼基附著上去。由前一實體（雙螺旋 DNA 的結構）造成的活動（氫鍵產生或斷裂），便可推理出下一可能發生的狀況（互補鹼基鍵上），這便是前進鍊結策略。回溯鍊結策略則如當年生化學家在蛋白質合成的研究上，他們知道蛋白質

合成的最後階段是胺基酸藉著共價鍵連結起來成蛋白質，他們因此往回推到單獨的胺基酸上，既然會形成強烈的共價鍵，表示需要高能量，也因此這些胺基酸應該會，先形成高能的中間產物。只是這套基模因為無法讓實際有參與蛋白質合成的 RNA 有容身之地，因此也就不成功。不過這段科學史，也讓我們看到科學家發展一機制時所使用的回溯策略。

2、 小結

Darden & Craver（2002）指出這種透過機制的歷史和哲學分析的研究方法，來探討科學史中蛋白質合成機制的發現，是可以推廣到其他案例的。因此 Darden 認為哲學家對於理解科學發現的推理，不需感到悲觀，至少在機制發現的推理上是如此。透過 MDC 對機制的物質、活動二元觀，及把機制定義為許多階段（狀況）的生產性連續過程，使得科學家可以舉一反三，逐步推敲出機制的整體細節。這個發現的過程或策略，Darden 等人在科學發展史中，找到諸多驗證。科學家若能更加理解機制的本質，或許將有助於其增加研究的效率和成就。對科學教育者來說，當試圖把科學史融入課程，或試圖在課堂上讓學生建構概念，從機制的角度著手，應該是一個全新可行的嘗試。

（二）Glennan 的機制模式

前面提過，Glennan 的兩個版本，把機制視為現象的起因，如果要把某一現象拿來做因果解釋的話，Glennan 的「機制」指的是現象背後真正的原因，而不在人所做的解釋（或說是科學理論）。也就是說在 Glennan 心中，應有著現象背後的真正原因，不一定是科學家所做的最佳解釋（目前最被接受的科學理論）這種看法。反之，MDC 則是根本迴避了「科學理論真的描述了事實嗎」此類的實在論問題，所以 MDC 的「機制」，便是科學家對現象所做的解釋，可以直接套用在科學家對自然現象所做的解釋（也就是科學理論）。這點 Glennan 後來也注意到了，於是他在 2005 年發表的文章中提出了機制模式（mechanical model），用以表示對機制的表徵，也就是對現象起因的說法（即科學理論）。這點和 MDC 很不相同，MDC 的機制既是現象的起因，也是對這些起因的描述（即科學理論）。當然 Glennan 的機制模式說法，注意到了真正起因和科學理論的不同，較容易為一些社會建構論學派學者所接受。以下先介紹 Glennan 的機制模式：

定義

> 一個機制模式（mechanical model，以下簡稱 MM）應該包括兩部分（一）對機制行為的描述，即行為的描述。（二）機制的描述，用來解釋該行為（即機制描述）。（Glennan，2005，p446）

Glennan 進一步闡述，所謂行為描述，指的是對機制的整體行為的描述，而

機制描述則是對機制的成分和成分之功能編排（functional arrangement），所做的描述。簡單來講，行為描述告訴了我們機制做了什麼？而機制描述則是告訴我們機制是如何做出這項行為的。Glennan 認為這些描述可以有多種形式，例如：我們可以用圖表，也可以用方程式來表示一個生物族群大小波動的生態現象。也可以說行為描述指的是機制的外在行為，而機制描述指的是內部運作。兩種描述間具有一對多的相關，亦即一個行為，可能有許多可能的機制，這也是模式之所以有競爭之因。Glennan 對這兩種描述的區分，可做成表 2-2-4：

表 2-2-4 Glennan 的機制模式定義

機制模式	描述	定義一	定義二	定義三	兩種描述相關性
	行為描述	做了什麼？	外在的行為	待解釋項 explanandum	有一對多的相關，亦即一個行為描述，可能有許多可能的機制描述。
	機制描述	如何做的？	內部的運作	解釋項 explanans	

當有兩個模式競爭其合理或正確性時，我們要如何仲裁或評斷呢？Glennan 提出了以下七個評鑑機制模式的標準。第一個標準在考量行為描述的適當性（behavioral adequacy）：模式有正確預測出機制的整體行為嗎（質性和量化皆顧）？這些預測有考量到所有的輸入還是只現在一些範圍內。第二到第七個標準皆是在評量機制說法的適當性（mechanical adequacy，即對行為成因說法正確性

的判斷）

二、此模式能長出機制的所有成分嗎？成分能否定位出來？

三、對每一成分而言，模式有正確找到其因果相關特性嗎？也就是說，特性的轉變可以歸因至其他成分的互動嗎？

四、模式有提供每一成分活動和互動在量上的精確描述嗎？

五、模式有正確表達出機制的時空組成嗎？

六、若模式包括了成分的次模式（submodel）和機制結構，則這些次模式可適當表徵出成分嗎？

七、是否模式內被訂出的單一機制都可對行為的產出有著效應？有多重機制嗎？若有的話，它們可以同時操作或在不同的情境下各自運作？

（三） 在科學教育的運用

身為科學教育執行者和研究者，念茲在茲的是如何把所學應用於此領域。Darden（2002）認為透過前一段所描寫的，科學史中機制發現的劇本，可找到一些策略，成為科學教育有用及好的教學材料。

1、科教期刊內的「機制」

以 EBSCO 資料庫查詢三大科教期刊 IJSE、JRST、SE 的文章，可發現只有

兩篇在標題當中使用了 mechanism 一詞，沒有任何文章把此詞當作關鍵字，有 23 篇在摘要內出現此詞，不過大部分都是純粹應用此字，而非探索機制的意義，例如：Schmidt（2003）在其文章的摘要中，出現此一段話「結果顯示出學生用來詮釋硝酸根轉變成一氧化氮的機制」。在兩篇標題裡使用「機制」的文章，也都未討論它的定義，其中一篇純粹使用之，另一篇由 Abrams & Southland（2001）完成的作品，則蘊含了科學解釋的討論，前文已討論過。

2、瞭解機制本質，可提升學生的推理和創造能力

Darden & Craver（2002）認為前一段所提的發現策略是可以推廣到其他案例的，因此他們認為哲學家對於科學發現的推理理解，不需再感到悲觀，至少在機制發現的推理上是如此。透過 MDC 對機制的物質、活動二元觀，及把機制定義為許多階段（狀況）的生產性連續過程，使得科學家可以舉一反三，逐步推敲出機制的整體細節。換句話言，科學家若能更加理解機制的本質，或許將有助於其增加研究的效率和成就。而對我們這些科學教育者來說，若學生懂得機制內的運作本質：活動、物質相依，為一套連續性過程、有抽象到詳細和基礎點可高可低的不同尺度，並因此能領會 Darden 所提出的三大推理策略，應該可以得到一些科學發現的訣竅，也就是可以提昇學生的創造和發現能力。當然科學的發現另外涉及專業知識，這是無法一蹴可幾，而需日積月累。但發現的方法呢？如 Darden 等人所言，這是可以學得的，也是科學教師可以傳授給學生。

3、機制本質的探討，可用於課程設計上

如果讓學生瞭解機制本質，對其有益。那要如何訓練學生呢？有個可能可行的方案：把科學史融入課程。在科教領域上，常有這類的教學方案(廖麗貞 *et al.*，2000)，借用 Daren 以機制的本質和特性探討蛋白質合成機制發現過程的例子，我們可以分析歷史上諸多機制的發現，並將之融入課程或教科書。如此以機制本質特性為本、科學史料為例，完成的教材，筆者預期除了讓學生領會科學發現的過程和策略，也讓學生熟悉了機制本質，更豐富了科學史融入課程的方法。

4、瞭解機制，可提昇閱讀能力

現今知識爆炸時代，資訊充斥於各種媒體，新一代學子不再擔心知識不易取得，擔心的應是知識正確性，以及能否順利解讀這些資訊。關於知識的可靠性，並不在本文討論範圍之內，但懂得機制，應可以增加解讀資訊的能力。筆者亦曾調查了近五年生物大學指考的閱讀測驗題，每一年大約兩至三題的閱讀題裡，有一半以上涉及機制的討論，例如：氣喘的病理機制 (94 指考)，北歐鯽在寒冷缺氧環境下的新陳代謝機制 (91 指考) 杭丁頓氏症表現的機制 (92 指考)，裡頭都是一大系列複雜的物體實體、活動連結。由於題目裡所呈現的概念名詞太多，閱讀者常惑於其內容而感到難以作答。筆者親身試以 MDC 的機制觀來分析這些文本，發現可以降低認知負荷，並減少閱讀理解所需時間。

小結

依國科會科教處所公布的科學教育白皮書，明訂我國科學教育的理念為：科學教育是一項全民教育，涵概所有的國民；強調培養全民的科學素養，發展每個人的「創新、創造能力」與「關心、關懷態度」。科學教育目標為：使每位國民能夠樂於學習科學並了解科學之用，喜歡科學之奇，欣賞科學之美（國科會科教處，2007）。藉由剖析機制特性，並以此觀察現象本質，筆者認為可提升學生閱讀與推理、創造力，也可協助教師的教學，恰恰可以呼應本國科教理念：發展每個人的「創造能力」、使每個國民「欣賞科學之美」。

三、現象發生的兩類型機制

學習心理學者 Chi，多年的工作在探討學生科學學習困難或迷思概念產生的原因，她指出有些科學概念，容易讓學生接受並在內心產生概念改變，有些科學概念則不容易取代學生原有的另有概念（Chi，1992，1997，2005； Chi *et al.*，1994a； Chi & Roscoe，2002； Chi & Slotta，1993； Chi *et al.*，1994b； 邱美虹，2000）。她認為原因出在不同的自然現象，是由不同類型的機制所造成。例如：她在討論血液循環和擴散這兩種自然現象時，指出血液循環是直接因果（direct causal）所造成，而擴散是突現因果（emergent causal）所造成（Chi，2005）。Chi 並非專研「機制」本質的哲學家，但她為這兩種現象的機制下了簡單定義：「引起流動，成分的結構如何使得模式發生」（cause the flow； how the structure of the component causes the pattern to happen）。也就是說，兩種因果關係中，運作

出現象的機制有所不同，在血液循環裡，血管、心臟等成分直接造成（directly causing）了血液循環的現象。但在擴散的例子中（例如：紅墨汁在清水中的擴散），成分的互動並不會直接（nondirect or emergent）造成紅墨水分子由高濃度往低濃度移動的現象。Chi 認為通常學童心中，不會有突現因果的機制觀，因此他無法解釋紅墨水擴散的現象，或是會用心中僅有的直接因果機制觀來解釋（紅墨水似乎有意識地朝著濃度低地方移動），而產生迷思概念。

Chi 認為知識有其不同的本質，可依本質的不同，做出知識的本體分類樹，而這個本體分類樹可以解釋學習心理學的一些疑惑，例如：為何某些科學知識比另一些知識難以學習。在十多年的持續研究過程中，Chi 首先在 1992 年將知識本體樹分成三種類別：物質、過程、心智狀態，每一類別其下又可分成一些次類別，次類別之下又可次分之等等，構成一個具有階層性的分類圖。其中物質類別是指含有特定物質屬性的東西，例如：棒球，可以用白色形容之，因此屬於物質類，但棒球比賽不可用顏色描述之，同時有著序列性、因果性，因此屬於過程類。心智狀態則是指情意部分，例如：害怕、慾望等。Chi 認為在心靈上跨大類別的知識本體轉移是困難的，例如：電流的概念，通常學生易把電流視作物質，但實則電流屬於過程概念，從物質類別去瞭解電流會產生迷思概念，而要從物質類別轉移成過程類別去瞭解理解電流，便是 Chi 所謂的本體類別間的概念改變，這種需要跨本體類別的概念改變是比較困難的。相對的，學生在「血液循環」的這個機制上，常有迷思：單循環型，但這個迷思和正確的科學概念：雙循環型，都屬

於過程類本體別，要從單循環的概念轉變成雙循環，Chi 將此稱為本體類別內的概念改變，根據 Chi et al.（1994a）的實證研究，這種改變並不太困難。

後來的十數年，Chi 做了一些修正，其中比較大的修正出現在 1997 年，Chi 把討論的重心偏向「過程」這一個本體分類，「過程」被分成有事件（events）、步驟（procedures）、系統（system）、以條件為主的交互作用（constraint-based interactions，CBI），CBI 和前三者有極不相同的屬性，若用前三種過程次分類，去理解原本應屬於 CBI 的概念，會造成迷思概念，同時概念之間的改變也不容易。1998 年時 Chi 則以平衡（equilibrium）一詞，取代原本的 CBI。在 2002 年時，又有一次重大修正，Chi 和 Roscoe 引入突現（emergent）的觀念，並已知取代原有的平衡（或 CBI），此時，過程本體分類裡，包括兩個次分類：突現和因果。她們從巨、微觀兩種角度來看事象，例如：擴散這個現象，有巨觀的物質由高濃度往低濃度移動，也有微觀的分子布朗運動和碰撞。如果巨觀的樣貌，不能由微觀的分子所直接推算出，則此現象產生的機制屬於「突現」過程，例如：染料分子在水中的擴散現象，單一染料分子的移動方向，不一定和整體染料分子移動的總和趨勢相同。相對的，若現象組成成分的行為，明顯的直接和整體現象一致，例如：血液循環中，心臟瓣膜的運作和血液移動的方向有直接關連，則屬於「因果」過程。Chi 認為一般學生因為只有「因果」這個過程本體次分類，而沒有「突現」這個次分類，因此當遇到類似擴散這種屬於「突現」過程本體的概念時，會用「因果」過程的屬性去理解之，也因此造成了迷思概念。

由於受到哲學界對因果定義的不同看法，Chi 在 2005 年再度修正其說法，把過程本體由原本的「突現」、「因果」兩個次分類，改成「突現因果」和「直接因果」(emergent causal and direct causal) 兩個次分類，並以兩層次 (單獨描述微觀世界分子的互動行為、把巨觀現象和微觀世界做出連接) 的屬性，來區別突現因果和直接因果這兩種分類。Chi 並使用血液循環和擴散兩種流動的現象，做為這兩種分類的例子。筆者也從 Chi (2005) 這篇文章出，整理出兩個不同的過程在兩層次的屬性差異，如表 2-2-5 和表 2-2-6 所示。這表詳細說明出兩種引發流動現象的內部機制，也暗示了產生自然界現象的內部機制，可區分出兩種，正如本小節引言所提到的，Chi 對機制的看法「引起流動，成分的結構如何使得模式發生」，而這個「如何使得模式發生」的機制是有「突現因果」和「直接因果」兩種差別。

事實上，研究者細讀 Chi 的文獻，發現雖然以突現和直接因果兩者，來看機制成因，可以給我們許多啟發，但兩者的比較和界定似乎有許多晦暗不明之處，再加上研究者於 2007 年一月間，曾與 Chi 的研究群有過電子郵件的溝通，得知 Chi 的研究群也在大幅度修改表一所列的各項屬性，表示表一的比較不能充分顯示出突現的意義，因此研究者即投入「突現」定義的文獻探討，進而了解到突現其實是一種新的解釋觀 :「複雜系統觀」的一個特性而已，因此要了解何謂突現，要先能了解何謂複雜系統觀，這一點將在第四節來討論。

表 2-2-5 兩類型微觀世界分子互動行為的描述

直接因果		突現因果	
定義	說明	定義	說明
Distinct 成分行為的不一致性	成分的行為有所不同，例如：在血液循環中，血球和瓣膜的行為不相同	Uniform 成分行為的一致性	成分的行為相同，例如：在擴散中，水分子和染料分子的行為相同
Constrained 成分間的互動有所限制	各個成分彼此間並不一定能夠互動，有些成分只能和特定成分互動。例如：在血液循環中，動脈和肺無互動。	Unconstrained 成分間的互動無限制	各個成分彼此間一定有可能互動，例如：在擴散中，每一水分子和另一染色分子的互動並未受到限制，雖可能未碰撞，但皆有碰撞的機會
Sequential 成分間的互動有次序性	行為的發生有一定的次序，例如：在血液循環中，心室的收縮在心房	Simultaneous 成分間的互動沒有次序性	行為的發生沒有一定的次序，本質上是同時發生的，例如：在擴散中，各個分子間的碰撞不分誰先

	之後		誰後。
Dependent 成分間的互動有依賴性	成分的互動行為會相依相賴，例如：在血液循環中，心室要把血順利送至動脈，必須靠瓣膜關閉此一行為的協助。	Independent 成分間的互動沒有依賴性	成分的互動行為不會相依相賴，例如：在擴散中，水分子和染料分子的碰撞，並不需要其他成分的協助。
Terminating 成分的互動行為會停止	例如：在血液循環中，心臟停止跳動後，瓣膜不開閉了，血流也終止了。	Continuous 成分間的互動不會停止	成分間的互動並不會隨著巨觀現象的停止而停止。例如：在擴散中，染料看似已不再擴散，但水分子和染料分子實則還持續地在碰撞。

表 2-2-6 Chi 對兩類型組成成分和現象連接的描述

直接因果		突現因果	
定義	說明	定義	說明
Subgroups（classes）成分可依角色和功能，再做出分類。	不同的 subgroup 或 classes，分別具有不同的角色和功能，並直接影響了巨觀現象中的不同面相，例如：在血液循環中，心室和心房的收縮是使血流前進，而半月瓣和房室瓣是使血流不倒退。動脈和靜脈又是同一類	All components，a Collection of component 成分間的關係為集合	不同成分彼此間不能因角色和功能做出分類，事實上，現象的產生是所有分子互動所造成。例如：在擴散中，所有水分子和染料分子共同碰撞才造成擴散這現象。
Direct 成分的行為直接或間接影響了現象。	成分行為的改變會影響巨觀現象。例如：在血液循環中，心室收縮使血液離開心臟。	Nondirect 成分的行為與現象的關係為 non-direct	成分行為與現象間並沒有明顯的關係。例如：在擴散中，分子間的碰撞，與擴散的進行，並沒有清楚明顯的連結。

Correspond-ing 成分的行為符應出整體的現象。	成分的行為會反映出特定現象或與之有關，例如：在血液循環中，血流的方向符應出瓣膜開、閉的方向	Disjoint 成分的行為不能符應出整體的現象。	成分的行為不會反映出特定現象或與之有關，例如：在擴散中，碰撞及其造成之分子移動，有可能與擴散流的方向相反。
Differential status 成分地位之不均	某些成分互動對現象造成的影響，會其他成分來得大。例如：在血液循環中，心室比瓣膜對血流影響來得大。	Equivalent status 成分地位之均等	成分互動對現象造成的影響，是有相等貢獻的。例如：在擴散中，水分子和染料分子對擴散現象的影響是相同的。
Global purpose 共同的目標	每一成分似乎都為著同一目的或功能在行動。例如：在血液循環中，各個成分彼此分工合作，完成血流的目的。	Local purpose （functional /goal /intentional） 沒有整體的目標	例如：在擴散中，每一成分只是在執行「布朗運動」這個工作，其移動造成的碰撞，並沒有傾向去營造出擴散方向。

第三節　「解釋」與「機制」的整合

一、機制總結

整理各派說法之後，筆者試著統整之，而建議出機制的詳細定義：機制是現象的起因，它是一套系統，可進行特定活動（行為）或完成特定的功能。這套系統裏有兩項重要成分：物質實體、活動。在一個機制裏有兩個以上的物質實體，一個物質實體所進行的活動，可以使得下一個物質實體發生改變，或是進行另一項活動，以影響下一個物質實體。每一個物質實體和它的活動，共同構成機制內的不同階段。因此機制也可視為一系列的階段轉換，由最初階段、經中繼階段到最終階段。當我們描述機制時，必須考慮到機制的階層性，欲描述的基礎點（也就是物質實體或其活動的不同基本單位，和依討論對象來決定的抽象程度。另外，依 MDC 對科學史的研究，科學家可以利用機制的基本特性，來協助推理，以提出新的科學假說和理論。最後這一點，將在下一節「機制的運用」當中，加以申論。

Chi、Glennan 和 MDC 分別從學習心理學、哲學、科學史，探討了機制的本質觀，前文已為後兩者進行了比較，底下將試圖把 Chi 的看法納入，同時比較此三者，如表 2-2-7。Chi 並未像 Glennan、MDC 等人對於機制有嚴謹的定義，也未如同 MDC，提到機制由抽象到詳細的階層性。她對機制一詞只有一句話的說

明:「引起流動,成分的結構如何使得模式發生」,之所以有「引起流動」一詞,是因她以引發兩種不同流動現象(擴散和血液循環)的機制為例,而未提到其他非流動的機制。經過十多年在學習心理學的研究觀察之後,她從學生學習困難差異的角度,認為機制有兩種類型:直接因果過程和突現因果過程。這是和Glennan、MDC 最大的不同,後兩者並未去區分機制的類型,只著重在區分機制內成分間的相互關係。和 Glennan、MDC 相同的是,Chi 也指出機制內有成分,成分會有某些行為,但延續有兩大類不同機制的看法,她認為成分間的關係會因為隸屬於不同的機制類型,而有不同的屬性。另一點和 Glennan、MDC 不同的是,Chi 明顯指出了成分和其引發現象間的關係,區別出在兩類機制(突現和直接)分類下,其內部成分和引發現象之間,有五項可相對比的屬性。關於此,Glennan 的說法應只有「成分間的互動」最終造成某現象;MDC 則是「系列性的物質實體的活動,造成了該現象」。

MDC 的「系列性實體的活動產生現象」的觀念,很類似於 Chi 所提到的直接因果,每一個實體進行所謂生產性活動,造成下一個實體產生活動,每一個因果的連接都顯明易見。事實上,MDC 也曾清楚點名自己的機制觀念,是從分子生物、神經生物學等領域而來(Machamer et al.,2000),而生物學領域正是 Chi 所引用的直接因果例子:「血液循環」的來源。甚至 MDC(Machamer et al.,2000)在批評 Glennan 之複雜系統學派論述機制的缺失時,曾點名 Glennan 缺乏直接因果法則來定義活動如何運作(there are rarely 'direct causal law' to characterize how

activities operate）。換句話說，MDC 的機制觀，無論從其引用例子皆來自生物學，或是其自居充分描述直接因果法則，再再都說明了其應屬於 Chi 所謂的「直接因果」機制。

相對的，我們也可思索一個問題：Glennan 的互動觀（成分間的互動造成機制的整體行為），是否便是 Chi 所謂的「突現因果」呢？事實上，這也是研究者和相關科教研究者的討論點。乍看起來，兩者的確有點神似，但筆者認為難以確定，首先是因為 Glennan 的說明不夠清楚得使我們可以做此判讀，Glennan 並未說明成分相互間有何行為相關，僅用成分間互動一詞帶過。所謂的「成分的互動屬於直接、固定、連帶變動的通則」，似乎也只是提供了一個「黑盒子」。其次，由 Glennan 來自 Salmon「成分間有恆定量轉移」的「成分的特性可以轉變，此一轉變會使下一成分的特性轉變」，似乎讓我們嗅出了一點「直接因果」的味道。第三，Glennan 並未說明成分和其引發現象間的相關性，而這正是 Chi「突現因果」的重點（機制的成分和其引發的整體現象或模式之間，並無直接關連）。因此，要把 Glennan 的機制互動觀視同於 Chi 的「突現因果」，應該屬於過度引伸。

換句話說，Chi 的「突現因果」機制想法，應是別於 Glennan 和 MDC 的一種對機制的嶄新論點，而且似乎也的確能說明一些現象產生之因。如果我們要對機制真正做出一個完善的理解和定義，就不能忽略任何一家的看法，尤其是 Chi 的「突現因果」機制想法。

表 2-2-7　Chi、Glennan 和 MDC 對於機制看法的比較

代表人物及作品	Glennan（Glennan，1996，2002，2005）	MDC（Darden，2002；Machamer，2004；Machamer et al.，2000）	Chi（Chi，2005）
定義	某一行為的「機制」是一複雜系統，此系統可藉一堆組成成分互動，而生出該行為，而成分的互動屬於直接、固定、連帶變動的通則。	機制由實體和活動所共同組成，這種組合產生了由起點，經中繼到終點的規律改變。	成分的結構如何使得模式發生（以兩種流動機制為例）
概念的由來	哲學中對於因果的探討 Salmon 的因果連鎖網互動造成特性改變的轉移，這想法來自 Salmon 的恆定量的移轉，互動	科學實務工作。主要是生物學、醫學領域。可以從科學史和科學發現的過程找到許多例子。	來自知識本體論和科學教育、學習心理學對於概念學習的實證研究。

	的固定、及連帶變動能力的特性，來自（James Woodward，2000）	否定 Glennan 早期定義中出現直接因果律。以及 Glennan 對「互動」的描述不夠。	
機制類型	未做分類	未做分類，認定自己談的機制，至少在生物科學可以適用。	分成：直接因果和突現因果兩種。
機制的特性	是一個複雜系統 強調「互動」的特性	機制是個連續性過程。 機制是有階層性的。 當我們看機制時，必須先決定自己所要的起點為何。 強調「活動」的本體性	兩類型的機制，各有不同的本體屬性

續表 2-2-7

機制的組成成分	成分（parts）：其特性可以轉變，此一轉變會使下一成分的特性轉變。	包括物質實體和活動兩者，都算是機制的成分	成分有不同的屬性，依機制的不同，分成兩類型：次分類或是集合。 成分有不同的位階，例如：擴散機制中，有兩位階成分，一為紅色染料、水，一為分子層次的染料分子和水分子。
成分間的關係	互動（Interaction）：機制內成分間的關係為互動，一成分的變動使另一成份發生變動的情況。 互動具有三大特性： 直接（direct）：一成分必須是下一成分的直接作用者。	可分兩種關係：物質實體與物質實體間。物質實體與活動間。 活動與實體兩者是相依的，實體是進行這些活動的事物，因為實體有某些特性，所以它可進行某些活動。活動是變動的製造者，他使物質	兩類型機制下的成分間關係，各有五種屬性： 直接因果的有：成分行為的不一致性、成分間的互動有所限制、成分間的互動有次序性、成分間的互動有依賴性、成分的互動行為會停止 突現因果的有：成分行

固定（invariant）：一成分的改變會固定使下一成分發生一樣的改變 連帶變動的通則（change-relating generalization）：一成分的改變，藉著其本身的『連帶變動能力』，使得另一成分特質發生改變。」	實體發生變化。 透過活動，前一個物質實體使得下一物質實體發生變化。	為的一致性、成分間的互動無限制、成分間的互動沒有次序性、成分間的互動沒有依賴性、成分間的互動不會停止

續表 2-2-7

成分和現象之間的關係	成分的互動造成行為	物質實體的活動，引起另一物質實體的活動，此系列式的過程，造成某現象或事物的產生。	成分的行為和其造成的現象（模式）之間的關係，依機制的兩種類型，而有兩大類本體屬性： 直接因果：成分可依角色和功能，再做出分類。成分的行為直接或間接影響了現象。成分的行為符應出整體的現象。成分地位不均。成分有共同的目標 突現因果：成分間的關係為集合。成分的行為與現象的關係為非直接。成分的行為不能符應出整體的現象。成分

			地位之均等。沒有整體的目標。
機制的推廣	引出機制模式（mechanical model）（Glennan，2005）	瞭解生物科學相關領域科學發現的過程。（Darden，2002）	可應用於推論學生學習困難的原因。並因此而找到改善教學的方法。

小結：

因此，研究者在整合 MDC 和 Chi 的想法後，認為可把機制性解釋，又區分成突現性解釋和序列性（直接）解釋，並試著定義如下：

1、序列性機制解釋：認為一現象內包含有許多成分，每一成分都會進行活動，每一成分的活動會使得下一成份發生另一種活動，最後一項成分產生的活動，或是所有成分活動的總和，即為所欲解釋的事象。

2、突現性機制解釋：認為一現象由成分所構成，成分之間有互動的行為，各成分的互動共同產生了某種現象，該現象的發生難以用成分的行為，直接預測出來，或說是現象整體的行為，並不等於所有成分行為的總和。

二、解釋總結：

從以上對於解釋的探討，可以歸出以下幾點結論：

1、各種解釋類型是互補的

承上文對於科學解釋類型的探討，研究者總結出現行科學界用以解釋現象的三大類科學解釋：功能性、理論性、機制性，如圖 2-3-1。其中理論性解釋又可區分成數學定律、基模；而機制性解釋又可區分成序列（直接）性、突現性。誠如 Wong（1996）所言，在科學學科裡，解釋不是單一型態的，而是具有多樣性。

解釋類型雖多樣，但對同一現象的各種解釋類型可以是互補的，例如：在生物科學中，對現象的解釋，常同時需要機制性解釋與功能性解釋，以教師在解釋「有絲分裂」為例，生物教師常常會以其對生物體有益的一面來說明（即為何生物要進行有絲分裂呢？這有什麼好處），也會對「有絲分裂」的過程加以輸贏（機制性解釋）。因此至少在生物學，若要對一事象加以解釋清楚，其完整的解釋應該會包括「用起因和目的來解釋為什麼」以及「用過程細節來解釋如何進行」。

做解釋時要考量「理論正確性」、「因果鍊」、「接受解釋者的熟悉性」（類比與擬人化之有效看此）。因此會隨聽者的認知能力和知識，而對現象做出不同類型的解釋，例如：國小階段在解釋生物現象時會用較多的目的性解釋，而中學階段有較多的機制性解釋（Tang & Chiu，2007）。

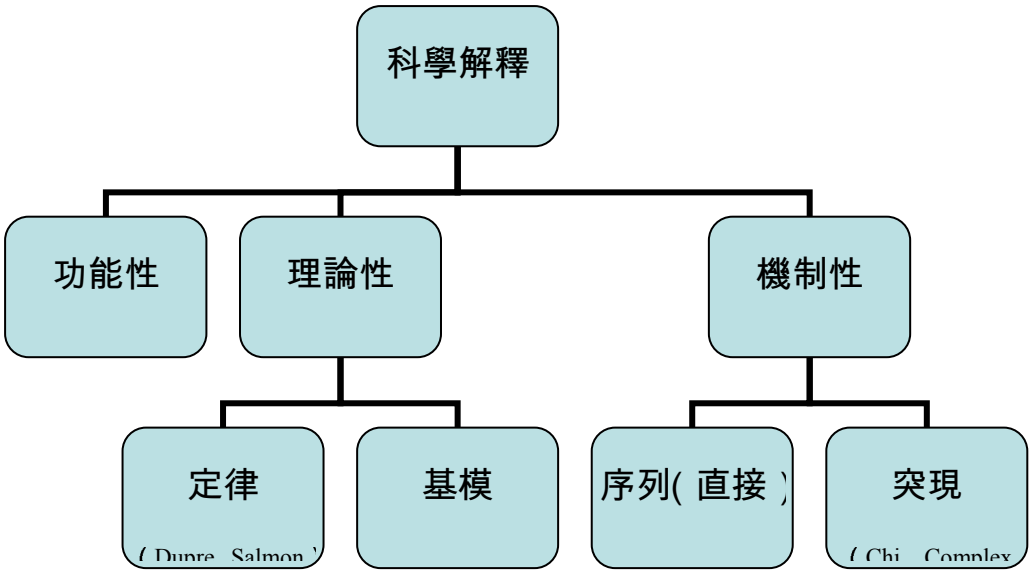


圖 2-3-1 研究者建立的科學解釋類型分類圖（英文部分指的是：這個分類界定時，主要參考的學者或學派）

2、教學常用其他類型的解釋

另外，在教師課堂上，使用解釋時，常常不僅用科學解釋而已，非科學解釋但有助於理解的解釋，更是科學教師常用的類型。教科書對自然現象的說明方式，可能包括圖形與文字表徵，而文字表徵又包含描述和解釋，解釋與描述又各有多種類型，如圖 2-3-2。由前文所提到的 Salmon 從對方理解的角度看解釋時，就方法論而言，類比解釋似乎是最容易的手段。筆者的教學經驗裡，與數理邏輯有關的演繹和統計解釋，通常不是讓學生理解、有所感覺的方法，而最能當頭棒喝、一舉成功的方法，往往便是類比解釋。雖然他的確會造成迷思概念，例如：把非物質的電流類比成物質性的水流，造成學生本體的錯置（Chi et al.，1994b）又如筆者在本研究中的假定：學生對演化的迷思概念，其實有部分是來自錯把功能性解釋置於目的論解釋。但大概沒人會反對，類比或擬人化等解釋類型，不失為協助學生親近科學的方法（湯偉君，2006）。雖然在教學實務上，會應用到各種解釋類型，但承第一章所討論的研究動機與研究目的、範圍，在本論文主要著力的解釋類型為教科書文本中的機制性與功能性解釋，也就是圖 2-3-2 以粗黑直線所標示處。

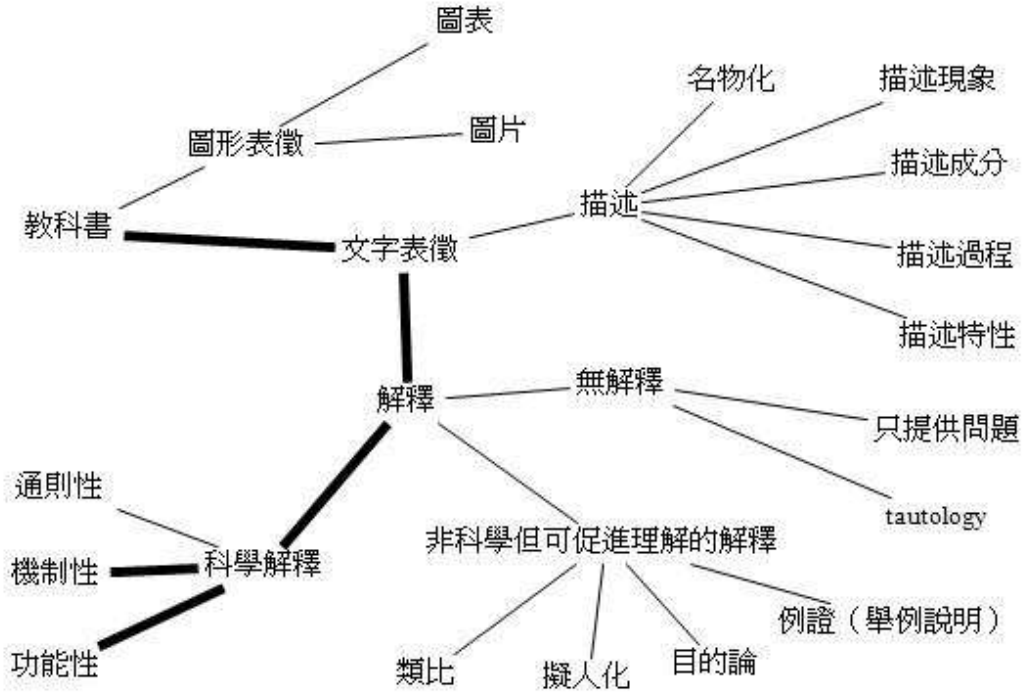


圖 2-3-2 教科書可能出現的各種解釋或描述類型

第四節　　複雜系統觀

突現，就字面上的意義，是突然出現，有著不可預測的意思，因此它可以算是一個現象的描述，至於為何會有「突現」這個現象出現，可以用複雜系統觀（complex system）來解釋。複雜系統觀是近二十年來逐漸站穩地位的一種新型態認識論。和數百年來主導西方科學思想的化約論不同，複雜系統觀以整體論的角度，試圖彌補化約論「見樹不見林」的缺點（Bosomaier & Green，1998），學者甚至稱此為典範轉移，一場新的科學革命（Gleick，1987；Goldstone，2006；Jacobson & Wilensky，2006；Resnick & Wilensky，1998；武杰&李宏芳，2000）。面對這一個新的科學解釋觀的建立、一種新的認識世界方式誕生，不可不知這種認識論的存在和其本質。本節首先將討論複雜系統為何？簡介其特性，並因此區分出不同類型或等級的複雜系統，接著討論複雜系統的重要性，尤其是對科學教育參與者而言，最後整理目前科教界對複雜系統的研究，以及未來的展望。

一、什麼是複雜系統

複雜系統普遍存在於真實世界中，他可能是人為營造出來的或是自然存在的，諸如水族箱、森林（Hmelo-Silver & Pfeffer，2004； Lesh，2006）；可用數學定律（規則）表達或難以用定律表達，如鳥成人字飛行或細胞的運作（Lesh，2006）；有些複雜系統甚至超越複雜本身，而另涉及自我調節或持續適應，如生

物的演化，可另稱為複雜適應性系統（Lesh，2006； Waldrop，1992； 范冬萍，2005b； 范冬萍 & 張華夏，2005）。它不一定是自然現象，也可能是一種社會現象，因人群互動而產生，例如：股市、交通擁擠狀況。

複雜系統所探討的標的，其實早就是人們研究的對象，生態系和演化論的討論早在一百多年前就開始，氣象變化、股市昇降也是人們在複雜系統觀出現之前便亟於掌握住趨勢。但受限於傳統科學認識論的侷限，從化約論的觀點難以掌握全貌。但隨著混沌理論在 70 年代的出現和逐漸成形（Gleick，1987），電腦運算能力的增長，及許多原被稱為異端學者的努力（Gleick，1987；Jacobson & Wilensky，2006；Waldrop，1992），複雜系統觀得以出現，人們更加掌握了世界運作的另一種本質，大家因此能瞭解到自然現象的形成，不能完全用化約、線性的角度來解釋和預測，甚至也部分解答了一些自然現象之謎，如鳥群為何能成人字飛行，白蟻為何能堆出可通風的蟻窩，原始生命如何誕生。

要賞析這種新認識論的優美，並承認其效度，首先得先瞭解複雜系統到底具有什麼特性？他和非複雜（簡單）系統又有何差異？由於他是一門新興學門，目前為止對於他的侷限和範圍並沒有一致共識（Waldrop，1992）。不過整理諸家之說後，大體而言，學者認為複雜系統可能具備以下特性：多層次（multiple level）（Chi，2005；Craver，2001，2002）；上向及下向因果（upward and downward causation）（范冬萍，2005a，2005b； 范冬萍和張華夏，2005）；突現（emergence）（Humphreys，1997a，1997b；Sterelny & Griffiths，1999；Waldrop，1992）；整

體性（holistic）（Jacobson & Wilensky，2006；Lesh，2006）、不可化約、不可預測（李建會，1995；李夏和戴汝為，1999；謝愛華，2003）；非線性（nonlinearity）（Waldrop，1992；武杰和李宏芳，2000）；多重因果；成分互動（關係）的重要性大於成分本身（Bosomaier & Green，1998； Penner，2000； Waldrop，1992）；動態的、不停止的（Bar-Yam，2003）；微觀層次裏有簡單的規則（Gleick，1987）；無中央控制（decentralized）（Resnick，1994，1996； Resnick & Wilensky，1998）；自我組織（self-organization）；正回饋（Waldrop，1992）；適應性（Holland，1992）。但要注意的是，並非所有複雜系統都同時具備以上諸特性，在區分不同類型的複雜系統之前，先討論上述的各項特性。

（一）多層次

這個特性其實不只有複雜系統才有，但要瞭解複雜系統，必須先知道其有此一特性。所謂多層次，即是以至少兩個層次的角度去考量一個現象，例如：現象和造成現象的組成分子之間便至少有兩個層次。以染料在清水中的擴散現象為例（Chi，2005），我們所見「染料由濃度高往濃度低的移動」，是一種可觀察到的現象，這是一個層次，而這個現象是因為染料分子和水分子的碰撞所產生，水分子和染料分子是另一個層次。一般常將此兩層次區分成，不可觀察到的微觀和可觀察的巨觀層次，但多層次的意涵超越於此，例如：生物體的組成和運作，可以從器官、組織、細胞、基因等不同層次的面相來討論。筆者認為所謂層次不是由

可觀察與否來界定，而應是由底下要提到的「上向因果關係」來界定。

（二）上向因果關係

上向因果關係指的是低層次性質對高層次性質的因果作用（范冬萍，2005b）。高層次由低層次組合而產生，他不能脫離低層次事物而獨立存在，例如：沒有心靈是不包含生命的，也沒有生命是不包含物質的（范冬萍和張華夏，2005）。沒有細胞這個低層次成分，就不可能有高層次的人體運作。同時，要討論人體現象時，可以從細胞層次，也可以從器官層次或是基因層次來看（Craver，2002），因此人體這個系統，屬於多層次，而每個低階層次對於人體的運作，都有一套因果相關，也就是可從任一低階層次對人體運作現象提出解釋。因此所謂的「多層次」不可僅以「可觀察與否」來簡單劃分，而應是一種含括關係，即系統裏有次系統，次系統裏有次次系統等等。依論述點的不同，可以有不同層級的基本單位，在解釋現象時所用的基本單位，可以稱為成分或作用體（components，constituents，parts，agents），例如：白蟻是白蟻築巢這個現象的作用體（Chi，2005； Chi, Slotta, & de Leeuw 1994b ; Glennan , 1996 ; Machamer , 2004 ; Waldrop , 1992）。

非複雜系統當然也有上向因果關係，例如：滑輪組是由許多小單位：滑輪所組成，但滑輪組明顯的不被認為是一個複雜系統。Hmelo-Silver & Azevedo（2006）指出這是因為它沒有異質性的成分、階層數太少。但筆者覺得不然，諸如鳥群成

人字飛行或白蟻築巢，現象的組成成分也都同質（都是鳥或都是白蟻），且涉及的階層數都只有兩層（蟻和巢，鳥和人字），但這兩種現象，在討論複雜系統的文獻中，一再被引用。因此要被稱為複雜系統，必須考量成分、階層之外的其他特性。以電腦為例，電腦結構十分複雜，組成成分多且異質，但電腦不被認定是複雜系統，因為它缺乏一種活力感（Waldrop，1992）。這所謂的「活力感」，也就是複雜系統必備的特性，如突現、不可預測、動態性等所造成。底下進一步介紹複雜系統的這些核心概念。

（三）突現，不可預測、不可化約

照字面解釋，突現就是突然出現，不被預期的出現，無法有「先見之明」的預測，也就是現象無法由低層次的成分行為所推論出來。在認識論的觀點上，這稱為整體論，心理學上很早就注意到此一特性，也就是著名的歐陸完形心理學派的「格式塔轉換」。通常對突現或是整體論最通俗的表達為：「整體不等於部分之和」、「整體的行為並非個別組成分子所具有」（范冬萍和張華夏，2005）。凡是複雜系統必具備此一特性，也就是「只有在整體（system-as-a-whole）運作的情境下才有意義」的特性（Lesh，2006）。也就是「高層次的事物整體所具有，而其組成成分所不具有，且事先不能由此加以預測的特性。」例如：生命之於生命的物理化學特性，心靈之於神經細胞的生理活動，就是一種突現（謝愛華，2003）。也就是「研究者不能從微觀層次的組成及其行為來演繹推出複雜系統的宏觀特

性。」(范冬萍，2005a)

突現具有不可化約、不可預測的意涵，前面所提到的滑輪組的運作，其整體的效能可以從單一滑輪的功能來加總，因此它不具突現特性，其整體的表現可以化約到個別滑輪的行為，可以從個別滑輪去預測整體滑輪組的作為，所以不能算是一個複雜系統。傳統科學的化約論觀點是，所有的現象都可由其個別組成份子的行為來解釋，因此生命可以化約到基因，基因可以化約到 DNA，DNA 可用物理化學來解釋。傳統科學解釋觀重視化約，企圖用粒子 (物質科學) 的角度來解釋萬事萬物，進而藉著操弄單一成分，便可預期或預測某種現象會出現。但是生命現象的發生，真的可以用原子的角度來解釋嗎？人類的創造力可以化約到神經細胞的行為嗎？其間自然有著很大的，我們想不透的隔閡，這也就是突現。

利用非線性的物理觀，可以部分表達突現的特性：難以預測和化約，因此突現性和非線性可以並談。非線性指的是兩個量之間不成正比關係，在直角座標中成曲線。線性相對於非線性，指的是兩個量所存在的正比關係，在直角座標系呈現直線，故名線性，線性系統是可解的，而非線性系統是不可解的 (武杰 & 李宏芳，2000)。利用非線性的成因，我們可以探討為何會有突現現象呢？為何它難以預測呢？關鍵在於多重因子的共同影響以及因子之間的交互作用，也就是在於組成成分間的關係而不在個別組成成分本身。

(四) 多重因果

在一個複雜系統裡，層級和成分都很多，因此系統的行為，受到諸多因子的影響，而且主要是受到成分交互作用的影響。隨著涉及面的增加，其計算量將以失控方式遞增，造成非線性、難以預測的變化（Bosomaier & Green，1998）。因此，任何系統行為，其實很難歸因到某一因子（某一成分或某兩成分間的交互作用）。這也是從事社會科學或教育研究的重大困難，太難掌握所有控制變因。問題便在於因為我們所研究的對象，便是屬於複雜系統。

（五）成分互動的重要性大於成分本身特性

Waldrop，（1992）指出突現之所以產生，可以用結合論觀點看：相互連結的節點網路代表一群相互反應的作用體，而力量蘊藏於連節點之中。例如：生命的本質在於分子的組織和互動，不在於分子。也就是當許多小分子彼此相互作用之後，讓整體突現出新的獨特的特質。例如：鳥成人字飛行，關鍵不在於鳥各自的飛行技術，而在於每隻鳥與其他鳥的互動。Waldrop（1992）整理出人造生命研究者對成人字飛行之模擬，只要遵循以下三規則，電腦程式繪出的鳥群們，與天上鳥的飛行方式相同，同樣排出人字形：每一作用體（鳥）

1、與環境其他物體間保持最短距離。

2、盡量與鄰近的作用體保持相同速度。

3、盡量向鄰近的大群作用體的中心點移動。

上述鳥飛行的規則，造就出人形飛行圖案，也說明了複雜的一個特性：微觀層次裏有簡單的規則。

其他互動比分子個別行為重要的例子，如染料分子的擴散現象，分子由濃度高往濃度低的移動，這種朝特定方向移動的可觀察現象，給人有了特別的意義，不論是目的論式的素樸想法，或是科學家所提出的熱力學定律。但探索其作用體（染料分子、水分子）的行為，每一個分子的行為都不符應這種移動的「趨勢」，而是每一分子好似剛性粒子般，彼此碰撞後往另一方向移動，因為碰撞機率的關係，漸漸的，分子由濃度高處分佈到濃度低處。因此擴散現象的發生，重點不在個別分子的運動，主要來自於「碰撞」，也就是分子的互動。

再如演化，所謂「適者生存」，某一生物或構造適應與否，並非全看生物或構造的本質和功能，而是要看生物與環境的互動。例如：有著三公尺大角的愛爾蘭鹿為何在一萬年前絕種？這是因為原本大角公鹿有著生殖優勢，受到雌鹿青睞，導致鹿群往大角方向演化，但隨著冰河時期結束，氣候溫暖，森林長出，大角的愛爾蘭鹿在森林中行動不便，因此絕種（Gould，1992）。無論大角或小角，作用體的個別特性都不足決定自己的生存優勢，關鍵在於與其他作用體（環境因子或同群鹿其他個體）的互動。

或許從上方愛爾蘭鹿的例子，我們會有個想法：環境主導生物的演化方向。這想法基本沒錯，也是達爾文演化論的核心概念，環境作為一個選擇者，挑選了

某些個體(適應環境者)。但實則在一個生態系中,生物不是純粹被動地被選擇,生物也可能去改造環境(例如:水獺築水壩),環境的被改造,進一步影響生存在這環境的生物,如魚種、植物種等,魚種的改變又可能影響到水獺的食性、、、。作用體之間的互動是交互的、動態的、不停止的。

(六)動態的,不停止的

動態的、不停止的,也是複雜系統的重要特性之一,此特性來自於作用體之間的交互作用。Lesh(2006)指出為何滑輪組不能算是複雜系統,乃因其是不像生物(living entities)而是似機器的(machine-like),也就是說它不會去主動作用在別人身上,只會被運作(which are acted on rather than which act on other things),而且其現象終會停止。複雜系統則不然,演化是不會終止的,現在的生命和十億年前截然不同,環境亦是如此;昆蟲與植物的共同演化、掠食者與獵物數量之間的波動平衡,也彰顯了現象的產生來自於永無休止的互動。

(七)下向因果關係

這也是複雜系統的重要特性,但並非所有突現現象都需要此一特性。所謂下向因果,指的是高層次具有低層次所不具有的性質,並對其組成部分(低層)有支配作用,也就是說,處於低層次階級的所有過程受到高層次規律的約束,並尊照這種規律行事。例如:昆蟲的下顎來自於蛋白質結構,後者又來自於基因(上向因果關係),但下顎與環境互動的效應,會影響基因的延續機率(范冬萍,

2005b）。高層的下顎和環境會影響低層的基因，使之在下一代中存續或絕滅，這便是一種下向因果。又譬如股市的升降，是來自各散客大戶各自的互通暗盤消息、閱讀金融資訊後，買或賣股票而造成股市市場的波動（上向因果），而市場的降或跌也會影響作用體（股民）們的買賣行為（下向因果）。下向因果的存在，闡明了複雜系統內的交互作用，不僅限於同一階層內成分的互動，實際上也有跨階層的互動。跨階層的互動，使得系統最後的輸出難以被精確預測，例如：有誰能精確預測股市未來一年的走向呢？

但某些複雜系統裡，並沒有下向因果，例如：當鳥已成人群飛行之後，並不會影響個別鳥的飛行行為。又譬如認知心理學家 Chi（2005）常引用的擴散例子，擴散現象並不會影響個別粒子的碰撞行為，每個粒子的行為還是遵守我們所謂的布朗運動。

（八）無中央控制

誠如前面所舉的鳥飛行的例子，便是一個無中央控制的系統運作，系統的運作純粹來自個別分子的互動及特定的互動規則。同樣的擴散現象的產生也是如此，在系統當中，並沒有主導者來影響整個系統的主要行為。Resnick（1996）指出這是複雜系統的重要特性，而一般人卻總是有「必有一個中央控制的想法」，例如：Resnick & Wilensky（1998）發現學童對於白蟻築巢的現象，總是認定是由蟻后或蟻王發出命令，而由工蟻所完成任務，這就是標準的中央控制系統觀。

金庸「射雕英雄傳」提到蒙古人之所以驍勇善戰，戰無不捷，起因在部隊編制有萬夫長、千夫長、百夫長、十夫長等，作戰時「如肩使臂，如臂使掌」，這種作戰方式便是標準的中央控制，眾人都以為他好。但實則如此嗎？會不會有非中央控制的優秀戰術作為呢？筆者非軍事專家，在此沒有解答，只是提出一個複雜系統跨學科應用的議題。

（九）自我組織

神創論者之所以仍未被完全放棄，除了有宗教因素外，也是因為以往的演化論難以解釋諸如人體或是眼睛這麼複雜的系統，如何可以靠著演化而發展出來。另外，不需提及如此複雜構造，單就蛋白質這種大分子，如何能從數十億年前一大鍋胺基酸湯組合出來，就難以解釋，因為這過程違反了熱力學第二定律，單靠機率來解釋也難以做到，常聽到的形容為，胺基酸自發成為蛋白質，此機率就像是暴風吹動廣場上的零件，把它們吹成一架波音 747 客機。但藉由複雜系統的「自組織」特性，複雜構造或是生命起源的難題，便可能得到答案。

自組織是部分複雜系統才具有的特性，所謂自組織就是系統在遠離平衡態和輸入負熵的條件下，藉由起伏或噪音，以及系統元素之間的自催化、交叉催化和超循環等形式的非線性協同相互作用，使系統發生分叉和突變，從而重新組織自己的實體、過程和力，形成新的有序結構的過程（范冬萍和張華夏，2005）。也就是說，成分會自動組織成一個體系，如勞力需求、商品、服務自動組織成市場

結構，而這個體系的存在強化了每一成分的連結和存續。又如古代之分子如何聚成蛋白質，是因為分子 A 可催化分子 B，B 可催化分子 C、、、分子 X 可催化分子 A，造成反應網中所有分子會穩定的比網外分子快速成長，稱為一個自動催化組（Waldrop，1992）。因此，自組織可以解釋，為何靠著演化可以產生人類這麼複雜的生物，或穩定的迴路的產生不像打牌時拿到清一色那樣難得。因為穩定的迴路（自動催化組）能自我強化，所以會比游離份子有更高的生存優勢，因此自組織可以擺脫熱力學第二定律的扯後腿。更進而許多小迴路自組織成能自我強化的大迴路，如此複雜的生物體和原始生命的確有可能誕生和演化出來。

自我組織要突破熱力學第二定律的反組織傾向，就必須具備有自我強化的能力，使得組織能強過個別分子，而這個自我強化能力之一，便是正回饋（positive feedback）。

（十）正回饋或報酬遞增

正回饋的例子在自然界所在多有，它可能有兩個結果，一個是形成自我強化組，例如：前面提到的化學反應連鎖催化組，日常生活常會經歷的例子，則如麥克風偶而出現的高頻率噪音，麥克風所接受的聲音，透過喇叭放大後放出，若麥克風離喇叭太近，啦叭放出的聲音會很快被麥克風接受到，再透過喇叭放出，又被麥克風接受到、、如此循環放大，圍繞於附近的聽眾們，都得掩耳減輕刺耳噪音的刺激。

正回饋的另一個效應是搭配系統內各成分的互動，使得初始狀況的小變動，可以導致之後系統的巨大改變，眾所周知的蝴蝶效應，巴西的蝴蝶搧動翅膀，導致氣流擾動，最終造成紐約暴風雨（Gleick，1987）。這也是非線性系統與線性系統的重要差別：線性系統傾向於消除微小變化，而非線性系統則傾向於放大該變化（Bosomaier & Green，1998）。在一個自組織系統裡，有可能會受到不起眼的關鍵分子的影響，而大幅改變了原有的組織型態。例如：汽車取代馬車之後，所引起的人類經濟體系轉變，包括行業的興衰、能源需求、運輸能力等都發生了重大改變（Waldrop，1992）。又如台北捷運改變了大台北縣市居民諸多生活型態，甚至心理。眾所期待的台灣高鐵，也被預期有這種效應。

（十一） 適應性

如果每一個組織都有自我強化而穩定存在的能力，而初始狀態可以導致重大改變，這樣應該會使得各種型態的組織充斥於現今的地球中，可是事實又不然，例如：絕大多數動物都是兩側對稱、兩個眼睛。為何某些組織型態又會強過其他型態而取代而存在呢？以生物演化的例子，為何人類不是四隻眼睛？或長得像珊瑚呢？以今日的眼光看來，在奧陶紀生物大爆發的時代裡，生物的相貌是古里古怪、千變萬化的（Sterelny & Griffiths，1999），為何這些組織系統不復存在？又如以汽車為運輸工具的社會組織為何取代以馬車為主的社會組織？紙幣的商業行為為何能取代以物易物的交易行為？這些都得用適應性來解釋。也就是所有的

組織型態都要經過環境的挑選，才可能存在。

經過自組織形成的迴路（系統）若恰通過環境考驗，則會存在。成為下一個更高階複雜系統的模組之一，此時可構成所謂的複雜適應性系統，這種系統包括腦、免疫系統、生態、細胞、政黨等。複雜適應性系統有以下的共同特性(Holland , 1992) :

1、每一個系統都是作用體平行作用的網路，系統的控制功能分散（沒有主要控制者）。腦：腦細胞；生態系：種；細胞：胞器。

2、複雜適應性系統在組織上有許多不同的層次，每一種層次的作用體都是更高層次作用體的基本單位。當複雜適應性系統經累積相當經驗之後，會不斷修正或重組其基本單位。

3、所有複雜適應性系統都能預期未來，會根據其對外界運作方式的假設，不斷做預測。

4、複雜適應性系統通常有許多棲位（niche），使每個作用體皆有一席之地。系統會不斷開創新的機會，所以要討論複雜適應性系統的均衡狀態是沒有意義的，若真的到達均衡，代表系統的死亡。所以複雜適應性系統的特性是永遠新奇。

因此，以演化的例子來看，適應性系統不是按部就班的在可能性的廣大空間中搜尋，而是重組基本單位，採取大躍進式的突破。演化也不是隨機的突變和天

擇，也是突現與自我組織的過程。

二、複雜系統的分類

複雜系統與突現經常被相提並論，甚至視作等義，但筆者以為這兩詞其實不完全相同，複雜系統裏會有突現的現象，但突現並非只限在複雜系統裏才會出現。如染料往特定方向移動，這種目的論式的擴散現象，是低層次的分子行為集合的突現，但這個系統卻一點也不「複雜」，只有兩個階層，且組成成分為同質性分子。同樣的，鳥群成人字飛行的現象亦如此，也是在一個不複雜的系統中有著突現的行為。周成功（1994）指出物理世界中有三大類系統存在：一、穩定狀態或週期循環的系統，如牛頓天體力學等古典物理學所研究的。二、許多分子雜亂的組合，如氣體分子系統，這吸引另一些古典物理學者。三、有結構但難以預期，有著無窮的形式，如生態系、政治、經濟、心理，這便是複雜科學想要解釋的。Chi（2005）所認定為突現標準例子的擴散現象，在周教授的分類裡，屬於古典物理的一環，並非複雜系統，顯見突現與複雜系統不完全等義。

Lesh（2006）則指出最簡單的複雜系統為雙擺錘（double pendulum，圖2-4-1），認定其為複雜系統的原因是，雙單擺由兩個作用體組成，此兩作用體按照簡單的規則來行動，兩作用體互動之後產生的結果難以預測，且為讓互動持續進行，兩作用體必須動態的、持續的運作。換言之，雙擺錘之所以被認定是複雜系統，乃因其具有上一節所談的幾項特性：突現、不可預測、成分互動（關係）

的重要性大於成分本身、動態的、不停止的、微觀層次裏有簡單的規則、無中央控制。但 Lesh 也注意到這種複雜系統，與真實生活世界裡的生態系統、經濟系統有所不同。前者是成分簡單，且遵守簡單規則但系統表現出複雜結果，後者則不論組成成分和整體系統呈現都很複雜。因此 Lesh 稱雙擺錘此類系統為「簡樸複雜」(simply complex)，而生態系此類系統為「深度複雜」(deeply complex)。

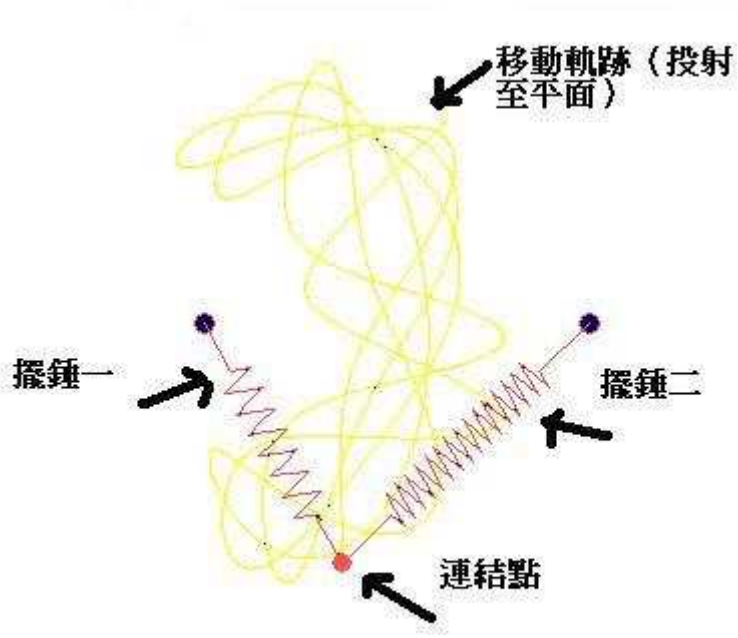


圖 2-4-1 雙擺錘互動形式及結果，連接點移動為三度空間，本圖顯示其投射至平面的軌跡圖（引自 http://www.maths.tcd.ie/~plynch/SwingingSpring/doublespring.html）

混沌與複雜系統這兩個名詞，也常被相提並論，但兩者也是不同。混沌已被描述清楚，這種複雜性頗簡單，數學家已經可以用數學方程式來描述這些現象或行為，諸如樹葉的擺動，獵豹斑點的形成、海岸線的形狀。但如生物學和心智等複雜適應性系統，屬於更複雜的形式，不能用數學方程式來簡單表示。也就是說，

混沌告訴了我們簡單的行為規則能產生極其複雜的變化，但未能解釋其它也被列在複雜系統的特性，如生命體系或演化的基本原則、從散亂的初始狀態如何自我組織成複雜的整體、宇宙為何不斷形成結構與秩序而未完全遵循熱力學第二定律（Waldrop，1992）。明顯的，混沌和複雜適應性系統兩者之間有複雜性程度的差異，後者包含複雜、有豐富的互動關係、能自我組織、有適應能力、動態等特性。而混沌則是在解釋簡單的動力學產生不尋常的複雜行為。單靠混沌無法解釋複雜系統的結構、一致性和自我組織的結合力。

雖然複雜科學這門科學太新、太廣，且探索的問題，違反了所有傳統的學門類別，所以難以定義（Waldrop，1992）。但由前述的討論可知，經由多人努力，學者已逐漸釐清複雜系統的特性和形式。在此整合前文所提周成功、Lesh、Waldrop 等人的見解，將複雜系統分成三個類別，並以複雜系統各特性的有無，各進一步清楚區分三者，如表 2-4-1。

一般人俗稱的複雜系統或突現現象，可依成分（或稱作用體）和現象兩者的複雜程度，區分成三者：單純突現、簡樸複雜、深度複雜。後兩者名詞來自（Lesh，2006），但諸如擴散等現象，沒有適當名稱，暫稱之為「單純突現」。給之以這個稱呼，主要是白蟻築巢、擴散等這些現象，其現象本身和造成這些現象的作用體都很「單純」，成分組成簡單且按照一定規律行動，而「往特定方向移動」、「成人字形」、「築出一個通風的巢」的現象都很「一致」，也就是說，無論是那一種顏色染料的擴散、那一族群侯鳥的遷移、那一窩白蟻，都可做出一致的行為。

「簡樸複雜」則如獵豹斑點、海岸線等，成分簡單、互動規則簡單，但其引起現象令人感到豐富、複雜，為何每隻獵豹斑紋可以這麼不同？枝葉分支和海岸線為何如此多樣化？換句話說，「單純突現」和「簡樸複雜」的現象成因相同，同樣都是簡單的分子以簡單規則行動之後，突現出來的效應，但此兩類現象，我們所關注的面相不同，一個是看他們為何如此一致，一個是看為何能如此多變。除此一點不同之外，兩者其他特性皆相同，同樣具有兩個層次（解釋項層次和待解釋項層次各一），上向因果、突現、互動重要性、無中央控制和自我組織能力。

「深度複雜」「也可被稱為是「複雜適應性系統」，如生態系、市場體系。其明顯的與前兩者不同，系統大而參與成分和層次都眾多（待解釋層次一個，而解釋項層次多個），且層級之間，皆可能有突現現象。由於參與現象產生的作用體甚多，因此有多重的因果連接，在各種因果連接中，某些作用體可以造成比較大的效應，例如：陽光之於生態系。但整體而言，沒有一個作用體也沒有「導演」、「創造者」可主導控制整個體系的演變方向，整個系統會依據成分不停止的互動而動態性的改變，動態的改變代表著新的取代舊的，如森林生態系取代草原生態系，也指出系統的適應性的效應，唯有具有適應性者，才有動態的可能。整個系統的變化可能影響作用體的行為，如生物體對細胞的影響，因此具有下向關係。

單純突現、簡樸複雜兩類別，則沒有深度複雜所具有的某些特質，例如：在現象層次上並未具有動態性，染料在水中可以達到均衡、獵豹班點最終成形，但在作用體層次內，染料分子和基因活動是不休止的。也由於沒有動態性，所以談

不上整個系統具有適應性。此兩類別也沒有「下向因果」屬性，鳥成人字飛行、獵豹斑點成形，都不會回頭去對個別鳥隻、基因的活動有效應。

三個類別的現象之所以都會在「複雜系統」文獻中，被引用來做例子，是因都具有「突現」這種超越人類傳統認識論的特性，令人難以費解，故名之「複雜」。但我們會發現某些複雜現象不具有某些複雜特性，例如：擴散現象沒有下向因果關係，所以所謂的複雜系統應可再做細分。在此藉由從某些特性擁有與否，區分出三種類別，應可讓我們更加瞭解複雜系統的定義。

表 2-4-1 複雜系統的分類及其特性（湯偉君和邱美虹，2007）

	單純突現	簡樸複雜	深度複雜 （複雜適應性系統）
定義	作用體以簡單規則的互動，造成某種一致性的現象	複雜的表象之下，有著簡單的規律	多樣作用體的交互作用，使整個系統呈現動態且有適應性
教科書內相關例子	擴散、鳥群成人字飛行、白蟻築巢	海岸線、植物枝葉生長模式	生態系、生命起源、演化
皆含兩大觀察面相	現象（整體行為） 造成現象的作用體	同左	同左
成分組成及行為	簡單（同質性高）	簡單（同質性高）	複雜（異質性高）
系統行為	簡單	複雜	複雜
多層次	二層	二層	多層（作用體多層）
上向因果	O	O	O
突現、非線性	O	O	O。
多重因果	X	X	O
成分互動重	O 互動規則簡單	O 互動規則簡單	O（兩作用體間互動

要性大於成分本身性質			規則簡單，但涉及的作用體種類甚多）
動態的，不停止的	X（現象層次） O（作用體層次）	X（現象層次） O（作用體層次）	O（現象層次） O（作用體層次）
下向因果	X	X	O
無中央控制	O	O	O
自我組織	O	O	O
適應性	X	X	O

三、複雜系統觀的重要性及其對科學教育的啟示

複雜系統觀的出現，對於純科學界或是科學教育界，可能具有以下幾點啟示：建立新的科學認識論、方法論；可整合日益分化的各科學學科；可能解答部分概念學習困難之因。

複雜系統觀改變人們認識世界的方式，人們不再把是自然界看成和諧與簡單的統一，而是復活了秩序與混沌之間古老的和諧蘊涵（武杰和李宏芳，2000）。以笛卡爾哲學為基礎的近現代科學以及文化傳統強調的是從上到下的還原、分析方法，例如：把社會現象化約到個人心理，把心理化約到神經生理，把神經生理化約到細胞，把細胞化約到生物化學，進而化約到原子科學。傳統觀點也強調有一個中心控制單元的結構，是機械的觀點，有完美的秩序，其變化是可確定的

（determinacy）。複雜性代表的是另一種看待世界的哲學觀，強調整體性的觀點，由下而上的集合和突現，是機率性的變化，沒有中央控制，是介於秩序和混沌之間，其結果的產生是機率式的，僅靠分解還原是無法理解釋物的全部實質的（Bosomaier & Green，1998；Resnick & Wilensky，1998；Waldrop，1992；李夏和戴汝為，1999）。這是一個新的認識論建立，當我們要去解釋魚成群游動、鳥成人字飛行、擴散，甚至演化、創造力等現象時，採用複雜系統的突現觀，會更能賞析所謂的「現象真正成因」。正如 Waldrop（1992）所指出，科學或許不只是追求預測和控制自然現象，而是要包括賞析和詮釋現象。

複雜系統的研究導致一新的整合性理論和方法學架構的建立，配合電腦科技的進步，使得研究者得以探討真實世界裡系統的多重因果，彌補了原本過度簡化且忽略了系統（systematically ignored）的傳統科學化約論之不足，也挑戰了化約論的地位（Jacobson & Wilensky，2006；周成功，1994）。當然，化約論有助於釐清參與系統的成分、層級、成分間的互動關係，仍有其重要地位（Bosomaier & Green，1998）。不可能被複雜系統觀所全然取代，因此把複雜系統觀的出現，說成是認識論的革命，可能有些太過，不過突現與整體觀念的進入，將使我們對自然現象的成因，更多了一些瞭解。

複雜系統的引入，由於其具跨學科特質，因此也可以扭轉科學學門日益分化的趨勢（Goldstone，2006； Hmelo-Silver & Azevedo，2006）。例如：自然生態系和經濟體系，文化的誕生與生物的演化，都可以從複雜系統觀的角度，找到許

多共通點。複雜系統觀也對原有的純科學理論造成許多衝擊，例如：演化論領域，以往強調「競爭和選擇」，但複雜系統自組織的概念，提昇了互依（interdependence）和共同演化（coevolution）的地位，使之與前者相提並論（Jacobson & Wilensky，2006）。

在教育上，雖然演化論、平衡、恆定性的議題，已出現在科學課程中，但複雜系統的核心概念卻未提及（Jacobson & Wilensky，2006），甚至只著重在記憶、理解系統內成分的名詞（Hmelo-Silver & Azevedo，2006），而演化論等本質上卻是在複雜系統當中運作的，換言之，現今的科學課程有必要重新思考這些議題的教學方式，而能用更符合系統本質的複雜系統觀，來感知現象變化的成因。並非說化約論的解釋法完全不對，但只偏重分析，卻可能造成知識零碎，見樹不見林，由整體論角度出發的複雜系統觀，正足以彌補。

另外，許多學習困難，正是因為現象具有複雜系統的特性，如突現、非線性、無中央控制、不可預測、自組織、階層性，而這正與學生的直覺相左，學生會用直接、線性、有中央控制、可預測的角度來認識現象的起因。這使得他們難以理解諸如生態系中族群的變異現象，分子碰撞導致的整體統計上的形貌，也因此造成許多迷思概念（Chi，2005；Chi & Roscoe，2002；Jacobson & Wilensky，2006；Penner，2000，2001；Resnick & Wilensky，1998）。的確，專家和生手在理解自然現象上，的確有著差異，不僅是知識量和知識結構，感知自然世界的方式也有著差異。如對水族箱或人類呼吸系統這類複雜系統的感知，生手主要以分解性的

「結構」角度去理解系統，而專家卻比較能以整體性的「行為」、「功能」的角度來理解之（Hmelo-Silver & Pfeffer，2004；Liu *et al.*，2005）。

因為真實世界中普遍存在複雜系統所造成的現象，科學界裡，以複雜系統為主的解釋模式也已常見（Penner，2001）。現今科學課程中，也有諸多涉及複雜系統特性的概念，這些現象或概念無法由化約論的角度，得到完整的解釋，必須藉助複雜系統觀。另外，學生素樸的想法會造成理解自然現象的許多困難。若學生能得到複雜系統的想法，他們不僅降低迷思概念的固著、發展出對科學整合性的賞析，也可以遷移其所學至其他不熟悉的領域（Goldstone，2006； Goldstone & Sakamoto，2003）。

基於以上所提的認識論變遷、課程的改革需求、學生固有的化約想法會影響科學學習、複雜科學有整合學科的特質等。因此我國科學教育界有必要審思現今的課程內容，增納瞭解複雜系統的學習目標。事實上，這十年，的確有一些西方教育學者、學習心理學者注意到此一問題，而嘗試在課堂上教導這些觀念，底下整理一些他們的目前的研究，以做為本國科教界的參考。

四、複雜系統的教學

複雜系統既被人命名之為「複雜」，也代表著人們對它有著「難以掌握」的感覺。這種難以掌握之感，也反映在教學上。複雜系統的觀念之所以難以教學，原因包括學生固著的化約想法，無法由線性因果關係轉向為系統的多重因果，也

缺乏適當的工具和活動來協助學生探索等。針對這些原因，學者也提出了幾個因應之道，包括本體訓練（ontological training）、電腦輔助、角色扮演或參與式模擬（participatory simulation）、鷹架、後設認知等策略（Chi，2005；Guyot *et al.*，2005；Hmelo-Silver & Azevedo，2006；Jacobson & Wilensky，2006；Liu et al.，2005；Penner，2000，2001；Raia，2005；Resnick & Wilensky，1998）。本體訓練主要在試著明白告知學生，有些現象必須用突現來解釋，且告知學生突現具有哪些特性，藉由在學生心中建立新的認識論本體，從而降低學習困難。電腦輔助、角色扮演或參與式模擬，則是讓學生經驗「突現」，體驗一些簡單分子依據簡單規則，而產生不能事先預期、令人驚奇的有意義景象。鷹架和後設認知則是協助學生建立起這些連接，但此兩者應仍屬建議，筆者尚未發現相關的實證研究。

Chi 及其研究團隊，多年來嘗試以本體訓練的方式，協助學生心中建立部分複雜系統特性，以期能瞭解擴散或是演化之謎。Chi 的想法經歷多年改變，最近以「自然現象分別有不同知識本體：直接因果本體和突現因果本體」為架構，認為學生會以直接因果的素樸想法，來解釋原本不相容的突現因果造成的現象，因此造成迷思概念與學習困難。如血液循環屬於直接因果，符合學生的心智本體，因此學習上沒有困難，但擴散屬於突現因果，不符合學生原有的心智本體，所以學生會用直接因果的目的論想法，去解釋微觀層次的分子活動，因而造成誤解。Chi 等人的解決之道，便是在學生心中建立出突現因果的心智本體，以此新的心智本體來認識世界（Chi，1992，2005；Chi & Roscoe，2002；Chi et al.，1994b）。

Resnick、Penner 等人，則著重在讓學生體驗「突現」此一特性的經驗。他們認為目前的科學教學（實驗）主要在收集數據以證明事實上已建立好的原理，如此的數據決定(data-driven)取向，低估了科學工作是個對解釋模式(explanatory model）建立、測試和評鑑的過程。他們指出現今科學教學的兩個缺失：未與新的科學解釋模型接軌，未與真實科學探索結合。因應這些缺失並為了讓學生體驗突現，他們採用兩種教學取向：「以現象為本建模」(phenomenon-based modeling）和探索式建模（exploratory modeling），來協助學生發展「經由簡單、局部互動可以突現出整體行為」的思維。前者先讓學生觀察到系統呈現的某一景象，並要學生設法設計出系統內作用體的活動策略，使之能重現出原有的系統整體景象；後者則是先不論系統整體景象會如何？先給予一套作用體的行動規則，觀察作用體以這些簡單的規則活動後，會導致出何種景象。實際執行時，可用角色扮演或電腦模擬等活動來進行，經由這些活動，學生能體驗到「沒有人可以精確預測作用體以簡單規則互動後，整體會產生何種相貌」的意涵（Penner，2000，2001；Resnick & Wilensky，1998）。

最近的研究指出，這些「突現」的觀念在學生心中是很脆弱的，學生之後容易回歸原有的非複雜系統的想法（Jacobson & Wilensky，2006），其實，這個結論和其他迷思概念的研究比較起來，並不讓人意外。但為改善這種情況，Jacobson 等人建議需有更多教育界和學習心理學界者，投入複雜系統的研究。他們也為複雜系統如何融入課程提出建議，包括要學習複雜系統的核心概念，以及將之應用

於問題導向和探索導向的學習活動。那麼國內的科教界應該如何因應這一新潮流呢？就筆者的想法，首先應先釐清複雜系統的意義，本文的目的之一也在於此，接著要廣泛的讓中小學科學教師接觸到複雜系統的概念，這恐怕是目前亟需努力的方向，至於要接觸哪些概念呢？本節整理出來的特性應能提供些許參考。待科學教師掌握這些概念後，可進一步設計相關教材，而科教研究者則針對此類的課程、學習心理學等問題，進行相關研究，以和第一線教師相輔相成。

五、複雜系統對本論文研究的啟示

追根溯底，當初想了解複雜系統，是為了了解突現。而想了解突現，是為了質疑 Chi 研究群把突現用在解釋學生演化論學習困難的假設上。了解複雜系統觀的特性後，發現其可以用來解釋演化，且彌補了天擇說之不足。事實上 1990 年代起，演化論領域裡，便有以複雜理論來解釋個體的演變的研究趨勢(Flannery，1993)。另外，筆者在對教科書進行「解釋類型」的前導研究時，發現中小學課本裡並未對複雜系統觀有所著墨，加上前文也指出複雜系統的特性，應能提供科學教師些許參考，設計相關教材。因此也形成了研究目的之一：融入複雜系統於演化論教學中，並檢驗其效益。為了此一目的，必須先了解前人是否已完成類似的研究，因此得先進行演化論教學研究的文獻探討，整理出來的內容在下一節詳述之。

另外，融入複雜特性於演化論解釋，在本研究中將視為是對生物演化的最佳

解釋。本研究主要是將複雜系統觀中的「突現」與「多因子互動」兩特性融入演化機制，若要檢驗學生是否能對演化做出最佳解釋，也就是能以「複雜系統觀」來解釋演化，必須設計出適當的評量試題，例如第參章研究工具中將介紹的測驗題中的「多因子」選項。

第五節　演化論教育的相關研究

演化論一向是現今生物學的核心之一，尤其是達爾文發表物種原始之後，演化成為重要的議題。而達爾文的天擇說被認為是取代創造論的科學革命，甚至是生物科學裏唯一的一個革命（Thagard，1992），也被讚譽為 19 世紀自然科學三大發現之一（張明渭和張康英，1995）。也有學者語出驚人地指出生物學要是沒有演化論就沒有意義了（Dobzhansky，1973）。演化論不僅是生物哲學甚至社會科學的重要根基，也是生物教育研究的焦點之一。不需談到有不少以演化為主題的科學專業期刊，就以生物教育研究而言，多年來也有國內外多名學者發表文章在討論演化論學習的相關議題。在這麼多的演化論相關科教研究中，可以說有三大主題：一是討論西方宗教信念與演化論教學的衝擊，包括探討教師本身信念與教學的調適（Griffiths & Brem，2004；Shankar & Skoog，1993），以及學生的宗教信念或創造論影響學習的情形（Dagher & BouJaoude，1997）。

第二主題主要談的是學生為何難以學習或融貫性地理解天擇理論，這個主題裡研究者通常把學生難以學習的原因，歸咎於拉馬克目的論迷思概念的固著。第三主題則以演化論教學為主軸，因應迷思概念的固著或學生的學習困難，這一方面的研究者致力於開發各種教學策略，以改善學生學習演化論的困難。關於第一項有關宗教信念對演化論教學的影響，這點在國內以及其他非信奉西方宗教的國家民眾而言，並不是一個大問題（李家維，2007），因此不在本論文研究討論的

焦點。國內也有許多研究顯示學生的確難以學習演化論，而更有效的演化教學也亟待開發。因此底下首先介紹科學史對於生物演變的各種解釋，其次介紹文獻所指出的學生對演化機制的迷思，最後介紹文獻中所記載對演化教學的改善方案。

一、關於物種會演變的解釋

在十八世紀以前的西方，今日物理科學典範的地球繞日說、牛頓力學都早已提出，但生物學中「物種會隨環境演變」這個似乎理所當然的現象，當時卻非主流科學。現在認為拉馬克是第一個注意到生物演變的生物學家，但其實在拉馬克之前，一位法國皇家植物園長布豐便提出了「生物的變昇基於環境的影響」的所謂「生物轉變論」，認為生物的種是可以變的。拉馬克認識布豐，後者的思想對拉馬克產生了深遠的影響（張明渭和張康英，1995）。但為何大家會認為拉馬克是第一次提出生物會隨環境改變的科學家呢？筆者認為這可能與拉馬克不僅注意到生物會隨環境改變的「現象」，也提出了這種現象發生的「機制」解釋，也就是後來鼎鼎大名用進廢退說。

文獻中對拉馬克學說的定義是（Mayr，1982；引自 Jensen &Finley，1995；張明渭和張康英，1995）：

1、各種生物都曾經歷了一個漫長的進化過程，而並非是一成不變的。

2、環境的變化，是物種變化的根本原因。

3、當環境改變時，生活在該環境的生物隨之演化。

4、那些生物的器官若經常使用則發達，另一些器官不用則退化。

5、這些變化了的性狀，可以遺傳下去（獲得性遺傳）。

6、基於生物內有的散發（perfusion）驅力，複雜的生物是簡單生物的後裔。

7、物種很少會傾向滅絕。

在達爾文二十歲時，拉馬克，這位偉大的生物學家去世了（1829 年），稱其偉大是拉馬克不僅試著提出生物會隨環境改變的機制，也是首位將動物區分成脊椎和無脊椎的學者。不過現在我們去審視拉馬克所提出的關於演化的學說，如上述的 1-7 點，可以發現只有 1-4 可屬正確，5-7 算是錯誤的說法。

大約與拉馬克同時代，提出「器官相關定律」，偉大的化石及解剖學家居維葉，也對進化論發表觀點，他依據神經系統和循環系統的差異，把動物區分成 4 個類群，而這 4 個類群存在著不可逾越的鴻溝，一個物種不可能轉變成另一個物種。因此他提出災變說，每隔一段時間，一個地區便會發生大災難，神會創造一批新生物（張明渭 & 張康英，1995）。所以其觀點仍屬神創論，災變說只是為了「化石中出現已滅絕的生物」來提出解釋。

現今關於生物演化的學說，以達爾文的天擇說為教科書主流，達爾文的物種原始以及後來出版的各相關書籍，並未條列式地舉出天擇說的原則，後來的學者

們結合遺傳學，將其理論摘要整理為五項原則：（1）隨機的種內變異（個別差異）；（2）特定性狀的可遺傳性；（3）存活率不同；（4）生殖成功率不同；（5）經由許多代而累積其改變（Ohlsson，1991，引自 Ferrari & Chi，1998）。Gould（1996）及 Mayr（1997）則指出天擇說有三個根本宣告：（1）所有生物傾向產生比其所能存活下來數目更多的子代，然而族群卻維持穩定數目；（2）子代並非某些突變種的完整複製，而是每一代的子代彼此間都會有所差異；（3）某些變異能經由遺傳傳給未來的子代。根據以上三個宣告可以導出以下推論：若物種的個體成員彼此間有變異，且有大部分子代在環境限制下無法生存，則存活者將是那些具有適合於環境的變異之個體。存活者的子代將傾向於像它們已在環境生存成功的親代，再經過長久的時間之後，累積許多有利的變異，也造成演化上的改變。

前段所談的天擇說，其實指的是演化的機制面，討論演化是如何發生的。但演化這個主題，其實可以有不同的探討面相，就以「行為生態學」所討論的動物行為的來源為例，學者指出行為生態學有 ABCDEF 幾個意涵：A 表動物；B 表行為；C 表因果（causation）討論行為產生的直接原因，例如荷爾蒙、基因、神經衝動造成行為發生等，這個面相類似於第二節所探討的機制；D 表發育，個體在何時可有某種行為；E 表演化，行為的種源論，如鳥和爬蟲類的類似行為；F 表功能（function）以某一行為對適存度（fitness）的貢獻或是適應價值來說明（Krebs & Davies，1993）。這六個字母指的是行為生態學使用到的六個關鍵字

與對於行為的發生的四個解釋取向。其中的 C、F 兩字所探討的恰是本研究所指的機制性與功能性兩種解釋。例如以動物的社會學習（social learning）而言，學者認為社會學習可以從功能性與機制性兩個取向來探討，所謂功能性指的是社會學習的適應本質（如學習他人可影響個體的適存度），又如機制取向指的是找出社會學習影響個體行為的特定方式（Bonnie & Earley，2007）。因此用功能性和機制性兩種角度討論演化，可算是演化生物學中常見的探討方法。

達爾文已逝世一百多年，這一百多年來，演化已成為大學生物系一門課程，甚至有專門探討演化的研究所，也進一步衍伸出許多研究領域，例如行為生態學（Krebs & Davies，1993）。當然對於演化的解釋也比達爾文進步而詳細得，例如：現代的演化論以融合當初達爾文說不清楚的遺傳觀念，且也出現哈溫定律、基因漂變等許多輔助天擇說的理論（Boomsma，2007；Futuyma，1998）。新達爾文主義與原有的天擇說，其中一項不同，乃增加了「機率」的因子，原有達爾文的天擇說，沒有注意到機率也會影響生存，機率將使得適者並非一定具有最高生存機率。二十世紀末，有一些理論直接挑戰了天擇說的神聖性，或說是彌補了天擇說之不足，例如：前節所提到的複雜系統觀，複雜系統觀當中的自組織、複雜適應性系統、突現等說法，有效解決了達爾文天擇說無法說明「生命之起源」、「複雜構造之產生」的窘境（Auyang，1998；Conradt & Roper，2005；Waldrop，1992）。且其多因子互動的說法，比起「適應環境」一詞容易造成單因子作用的誤解，更能清楚說明生物和環境的關係。由於前節已對複雜系統有著專述，在此

不再贅言。

筆者將前文提及的幾種關於演化的典範或理論：神創論、居維葉、拉馬克、達爾文、複雜系統觀，整理如表 2-5-1。神創論和居維葉都主張生物由上帝創造，因此不是演變而來，但居維葉作為化石及解剖學者，注意到時間歷史上出現過現今沒有的生物，但他用災變說來解釋之。拉馬克的學說注意到生物會因應環境而演變，因此符合生態學理論，但其演變的機制違反了遺傳學。達爾文的理論難以解釋，甚至迴避複雜構造的由來和生命起源。複雜系統觀則可以補此不足。

表 2-5-1 關於演化的數種典範或理論

理論特性	神創論	居維葉	拉馬克	達爾文	複雜演化
生命起源	神創造	神創造	？	難以解釋	自組織、複雜適應性系統、突現
物種演變	不會	不會，每一段時間地球有災變，災變後，上帝便會創造一批新生物。	會，現有生物是先前生物的後代	會，現有生物是先前生物的後代	會，現有生物是先前生物的後代
演變的機制	？	？	因應環境而自發變化、用進廢退、獲得性遺傳	個別差異 存活率不同 生殖成功率不同 遺傳 逐代而累積	達爾文天擇、複雜系統成分互動、突現
與遺傳學融貫	無	無	無	有	有

與生態學融貫	無	無	有	有	有
複雜構造之產生	神創造	神創造	?	難以解釋	自組織、複雜適應性系統、突現
時間軸	未注意到	注意到	注意到	注意到	注意到

筆者認為：若以決定論作一軸，神創論、居維葉、拉馬克、達爾文、複雜系統觀五個說法，恰恰依序排列在決定論光譜上，如圖 2-5-2：具高度決定論的是神創論，完全由神所決定，居維葉多了災變這個不確定，拉馬克則部分排斥神決定，但改以環境決定，達爾文則完全排斥神決定，但除了環境決定外，還要考量個體變異的不確定，複雜系統觀則擴充「環境」的意義，改成多因子互動，且加入機率、突現、不可預測等因素，所以屬於最不具決定論想法的演化學說。

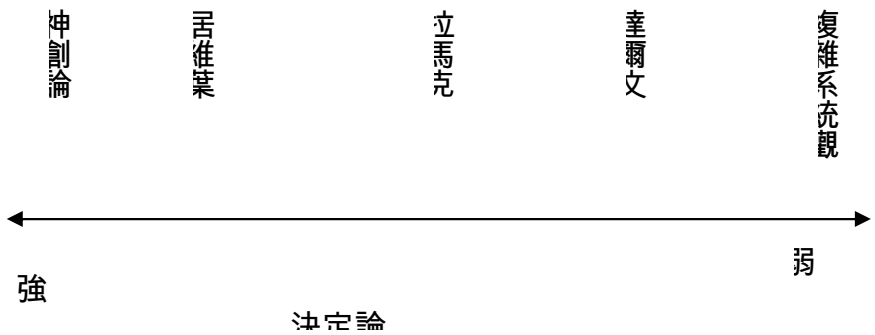


圖 2-5-2 以決定論之強弱觀察不同的演化解釋典範

二、學生演化的另有概念及其成因

就前一段所討論對生物演變解釋的典範，但只有三項在演化教育研究文獻中常發現：神創論、拉馬克、達爾文，居維葉未受重視，而複雜系統觀則尚未受到注意。達爾文的天擇說是現階段中小學教科書關於演化的最佳解釋，神創論和拉馬克則算是另有概念。神創論雖是 Thagard（1992）所指出的被達爾文天擇書所革命掉的典範，但其實很少存在於學生的心智裡頭。現有的相關文獻主要著重在拉馬克迷思的討論，例如：Geraedts & Boersma（2006）指出：許多文獻都記載著不論年齡、國籍、教育程度，學生都以拉馬克式的語調來解釋演化論。拉馬克目的論式迷思概念與達爾文天擇說的對比，也可以說是演化論教育研究截至目前的主流，最近幾年仍有多篇研究著力於此，有些研究者則再細分出幾種不同類型

的迷思概念（Shtulman，2006；荏家續，2007；陳藍萍，2004）。底下將介紹一些文獻中，關於學生演化論另有概念及其可能的研究。

（一）另有概念--拉馬克式

Deadman 和 Kelly（1978）發現絕大多數 11-14 歲的男學童教學前所具有的演化概念，主要是以自然論與拉馬克論為主，學生認為動物特徵的改變是由於該動物〝需要〞、〝想要〞或本身內在的力量決定所產生的。Brumby（1979，引自陳藍萍，2004）以澳洲具生物學背景的大一學生為研究對象，發現迷思概念的類型與拉馬克學說的解釋相似。這些學生認為：（1）所有的變異都是來自於環境的改變造成的。（2）適應是一個定向的過程，而非選擇後的結果。（3）演化是以個體的一生或一個世代來考量，不知道演化應該是從族群經過許多世代後發生的改變來考量。Brumby（1984）晤談了 150 位澳洲醫學院大一學生，發現大多數的學生認為演化的改變是因為生物受環境的影響所需要的，就像拉馬克論者的觀點，他們是以生物個體一世代的經歷來考量適應問題。Ohlsson 的研究群（Ohlsson，1991； Ohlsson & Bee，1992； Larreamendy-Joerns& Ohlsson，1995；引自陳藍萍，2004）針對初學者所做的研究發現：有的學生會提供拉馬克論的解釋，認為新種的出現是因為個體後天的特徵的獲得，而有些學生持有目的論的解釋，他們認為特徵的出現是為了某種目的，例如：學生解釋老虎的條紋是為了捕食的目的而出現，沒有了條紋老虎就無法在環境中偽裝，就無法捕殺獵物。

（二）另有概念—超越拉馬克

有些研究者則分類出不完全與拉馬克迷思相同的迷思概念，如 Bishop 和 Anderson（1990）認為學生針對以下五點，分別具有的另有概念為：

1、族群中新性狀的起源與生存，可能是因需要、目的、適應、用進廢退等原因造成。

2、個別差異與天擇並沒有什麼相關。

3、演化是指個體的性狀，經過許多世代的「特性」轉變。

4、以日常生活中的「適應」一詞，來理解天擇說中「適應」一詞。

5、認為某些優勢，如健康、壯碩、聰明等，才有適應能力。

Ferrari 和 Chi(1998)則將學生演化另有概念稱為非達爾文(non-Darwinian)解釋，可分為三種類型：

1、質變演化（Transmutational Evolution）：指有一個較大的突變或跳躍，產生了一種新類型的個體。

2、轉形演化（Transformational Evolution）：把演化視為自然發生或有意的透過外表型或基因型，逐漸改變器官而成為較佔優勢的種。

3、其它：解釋太含混而無法分類，或是不屬於前兩類型的解釋，則歸為第三類型。

Settlage（1994）則將高中學生對於生物演變的解釋，歸納出六種類型：

4、需要（need）：對於性狀的出現，以目的論來解釋，也就是個體為了生存，需要某種性狀，所以演化出該性狀。通常這類的回答會用到「需要」（need）或「必須」（necessary）的字眼

5、使用（use）：認為新性狀的形成是因為動物的使用而使得性狀有所增進，或因為不使用而丟棄，是有用進廢退的意思，這屬於拉馬克迷思。

6、適應（adapt）：學生的回答中，出現「適應」這個字，但對於演化過程並無法進一步的說明。

7、突變（mutation）：學生認為性狀的出現是由於產生突變，是基因型自發的改變。

8、變異：學生的回答中有提及族群個體之間的不同。

9、其他：回答不屬於其他五種類型或沒有回答出問題的都歸於此類。

國內的研究則有吳美芬（2002）針對師院學生做研究，將學生的迷思概念的解釋架構分為「目的論型」、「目的用進廢退型」、「改變下一代型」、「用進廢退選擇型」、「先演化後選擇型」、「變異選擇型」、「用進廢退轉變基因型」、「用進廢退型」、「轉變性狀型」、「轉變性狀選擇型」、「產生變異選擇型」、「變異與用進廢退並存型」與「目的用進廢退與變異並存型」等十三種。劉誠宗

（2003）則將學生的解釋架構分為「達爾文學說型」、「達爾文與拉馬克學說並用型」、「拉馬克學說型」、「自發生成型」、「自發生成與拉馬克學說並用型」五種主要解釋類型。陳藍萍（2004）則將學生的解釋架構分成「目的造成改變演化」、「目的造成新一代基因改變演化」、「目的造成多代基因改變演化」、「環境造成加強演化」、「獵物與捕食者相互影響演化」等五型。荏家續（2007）則沿用 Shtulman（2006）的架構，將學生的另有概念歸因於具「轉型論」的心智模式（相較於天擇說的變異論），也就是所謂的逐代累積，是「個體性狀逐漸改變」還是「族群性狀比率逐漸改變」。。

總結起來，本小節所謂的「超越拉馬克」的迷思，其實在「拉馬克」與「達爾文」的二分法之間，經由對演化機制細節的檢驗，區分出不僅一種的混合型迷思。分法可以有許多，但這些迷思的成因為何？將如下一小節討論。

（三）另有概念的成因

之所以學生會有前兩段所討論的另有概念，亦有一些學者提出解釋，茲將所收集到的文獻整理如下整理如下：

Brumby（1984）認為學生會有拉馬克式的解釋，可能是因為誤認個體在其一生中可以改變其性狀，並能將此獲得的改變繼續傳遞下去。且大多數的學生相信生物只要因為需要，就可以逐漸演化，去適應環境的改變，這也使得學生的演化解釋，都有拉馬克的影子。

Bioshop 和 Anderson（1990）則認為演化包含兩個不同的過程：（1）新性狀的產生是因基因隨機的改變（基因突變或重組）；（2）新性狀的存活或消失是因為環境的選擇（天擇）。但是很多學生卻無法瞭解這二個不同的過程，他們認為的演化只有物種的性狀漸漸改變的單一過程。他們也認為認為天擇說這個概念對於學生來說十分困難，而大部分的教科書和課程並沒有用合適的方式來教授，並且在學生充分了解基本的概念之前，就要學生去學更深入、困難的內容；另一個原因可能因為無法區分原因的解釋與功能上的解釋，對很多學生來說，用個體特徵的功能就足夠可以來解釋生物性狀的演化了。

Ferrari 和 Chi（1998）也整理了三種關於學生為何在演化論存有固著的迷思概念的假說。第一類假說著重於理解基本概念的困難，例如：「族群」、「頻率」「適應」等概念。第二類假說著重於學生沒有層次的概念，也就是無法區分如基因、個體、族群和物種等屬於不同層次，且對學生來說某些層次難以理解。第三類假說著重於動態的本質或演化的時間架構，學生對於演化的時間架構不熟悉，只有少數的學生能想像「百萬年」這種抽象的概念。

劉誠宗（2003）的研究則認為原因在於學生：（1）對於科學本質了解不足，會以目的論或需要去解釋，有時會對某些現象做出價值判斷及將人的影響力過於延伸；（2）邏輯思考能力不足；（3）先備知識的不足，而對不足處會含糊其詞或以各種不知所由何來的說法填補，有些學生對科學概念具有錯誤信念，會引用不同機制解釋變化過程。

Shtulman（2006）則是認為另有概念的產生，是因為學生具有「轉形論」的心智模式，國內的荏家續（2007）亦採類似看法。

（四）教科書的錯誤

教科書不僅是教師在教學時的依據，也是學生獲得知識的主要來源（許良榮，1997）；Aleixandre，1994）。教科書是標準知識的來源及學習的工具，教師面對不同程度的學生，多半還是依賴教科書的內容，教師授課內容與教科書形影不離（劉昭宏 & 郭重吉，1995）。教科書既有此重要地位，其正確性的要求頗高，否則可能給成千上萬的學子們帶來迷思。但教科書真的沒有錯誤嗎？

Rees（2007）指出英國生物相關教科書當中關於達爾文的敘述有以下多處錯誤：

1、達爾文是第一位提出天擇演化論（theory of evolution by natural selection）者。Rees 指出其實早在 1831 年，達爾文發表物種原始一書前近 30 年，有一位蘇格蘭人 Patrick Matthew 已提出天擇的理念，只是他發表在非科學專業書籍中，不為科學社群所知。但達爾文知道此人和其想法，不過教科書都未提到這一點。

2、達爾文提出了適者生存（the survival of the fittest）。Rees 指出這一名詞其實是由 Herbert Spencer 在 1864 年，達爾文的物種原始發表 5 年後才提出，教科書未提此點，相信學生將不可避免的誤以為此詞是由達爾文所提出。

3、達爾文搭乘小獵犬號環遊世界並在回國後出版了物種原始一書。事實上，達爾文在 1936 年回到英國，但直到 1859 年才出版物種原始。大部分教科書都未提出中間有一延宕，會讓學生誤以為達爾文一回國便寫出了物種原始。

4、達爾文是觀察自然學者（observant naturalist）且在環遊世界期間仔細的採集。Rees 指出達爾文其實是因其社會地位足以與船長作伴而能上船，並非因其學術地位。另外達爾文也只有採集標本，而未對標本分類，甚至還有吃掉其採集生物的情形。因為缺乏足夠專業，回國後仰賴其他專家幫忙鑑定及分類。

5、教科書都以鷽鳥為例，來說明達爾文演化的重要性。但事實上，達爾文無法區別加拉巴戈島上這些不同的鷽鳥，也和其他島上的鳥互相搞混，所以也不能知道鷽鳥鳥喙岐異在演化上的重要性。鷽鳥的辨識主要由倫敦動物協會的 John Gould 完成，之後達爾文才注意到鷽鳥在演化的重要性，但關於鷽鳥嘴型與資源運用的議題，大部分是由後來的 David Lack 所完成。

6、達爾文是在 1858 年第一次聽到華萊士獨力完成了演化論。事實上，兩者已經通信過多次。

7、達爾文和華萊士在 1858 年倫敦林奈學會的會議中，共同發表了文章。其實兩者都未參與此會議，會議本身是達爾文徒弟的點子，且文章由協會秘書

所朗讀，當時該會議並未受到科學社群的太大注意。

上述所提的這些錯誤，其實是關於達爾文科學史的一些誤解，這些誤解不至於成為學生對天擇另有概念的成因。但是達爾文本身是英國人，連英國的教科書都普遍對達爾文有如此普遍的誤解，Rees 確信，這是因為教科書彼此之間互相參考的結果，所以不需驚訝再版的教科書同樣犯了這些錯誤。

本國的教科書有無此一互相參考的導致的普遍錯誤呢？而這些錯誤會否影響學生演化學習呢？值得我們進一步研究。

（五）小結

由上述的整理中可發現，學生的確常以拉馬克式迷思來討論演化，文獻中雖然也有區分出目的論的迷思。但筆者認為無論「改變來自身體內部意識」、「拉馬克」、甚至「天擇說」三者都屬於廣義目的論。因為「生物的演化，是因應環境的改變」這句話本身就有目的論成分在，演化有其目的，此目的就是為了生存。既然天擇說也有「目的」的影子，那如何去區別「天擇說」屬於科學解釋，其他的屬於另有概念呢？答案應在於前文所提及的層次與解釋類型觀念。演化現象和演化機制屬於不同層次，後者是造成前者之因，也就是後者對前者有上向因果關係。這兩個層次的解釋本質不同，前者屬於功能性解釋，也就是回答「生物為什麼要演變？」的解釋，後者屬於機制性解釋，也就是回答：「生物為什麼能夠演

變？」的解釋。功能性解釋有著目的論成分，但演化的機制解釋卻不能有目的成分。筆者認為這可能是演化迷思概念的成因之一，其實 Bioshop 和 Anderson（1990）也有注意到這點，他們指出迷思概念可能來自學生無法區分原因的解釋與功能上的解釋。不過該兩位學者僅提出假設，且未結合解釋類型的理論。因此結合解釋類型，將演化區分呈演化現象和演化機制兩層次問題，以探討學生迷思概念，將成為本論文的研究目的之一。

三、演化教學的改善方案

文獻中對於演化教學其實提出許多的方案，有的效果不大，有的則使學生在教學前後有所差異。教學成功的例子如 Geraedts & Boersma（2006）認為雖有大量研究報導學生有拉馬克主義的迷思概念，但少有文章聚焦在天擇想法的成功建立。因此他們使用引導式重新發現（guided reinvention）而非先前研究大量採用的概念改變策略來教學，結果發現學生少有拉馬克想法，幾乎都成功建立了達爾文或新達爾文想法，因此得到結論認為拉馬克迷思概念並非先前文章所想像的那麼固著。又如 Deadman & Kelly（1978）曾分析美國 11-15 歲男孩有關演化的概念，並因此參考奧斯貝的前置組織因子想法，設計了所謂適合用來教授演化論及遺傳的概念基模（以今日的術語，或許稱為概念圖較為適當），在這個基模中，Deadman 等人有提到「適應來自於許多因子的複雜互動」，但不被列為是一個必須強調的重點。教學策略沒有明顯效果的例子，如 Brumby（1981，1984）對澳

洲及英國大學生教授演化的相關概念後,其課後晤談及後測中發現並不會改變學生對生物適應過程的解釋，絕大多數的學生仍持有相同的迷思概念。

所有有教學經驗的教師都清楚,教學要有成效,其實不單是教學策略改變所能決定,包括學生學習動機、教師課堂掌控、教材內容等都有影響,因此,不能單以教學前後測差異,來對某種演化教學的成效作判決。因此表 2-5-2 整理一些筆者所收集到的國外演化教學相關研究,由於上述的理由,本表不討論各種教學法的優劣,主要在看學者為演化論提出了哪些解決方案,也看演化教育研究裡有哪些的研究取向。

表 2-5-2 演化論的國外相關科教研究

學者及發表年代	研究方向
Deadman & Kelly（1978）	以奧斯貝學習理論的前置組織因子，來看學生在未學演化和遺傳時的概念。
Keown（1988，引自 Jeffery & Roach，1994）	指出若要學生建構出對演化的理解，演化的底層結構（understructure）應納入中小學課程裡。此處他所謂的底層結構有四個：地質時間、地球環境的自然轉換、個體基因組成的變異和轉變、物種的生物潛能（biological potential）。
Bishop & Anderson(1990)	分析大學非主修生物的學生，在上課前後的測驗表現，由學生作答可知，學生可以了解演化是一種物種因應環境的狀況，而逐漸改變的過程。但學生有著以下另有概念：性狀改變是因應需求，而非來自基因突變或有性生殖的重組；不知道個別差異對於生育成功率的影響；認為族群所有個體同時逐漸改變性狀。研究者也發現：之前的學習與信念與作答成功率並無影響，而本研究所採用的教學策略有一定的效果。
Gauld（1992）	利用科學史(Wilberforce 和赫胥黎在 1860 年的著名辯論：達爾文的演化論是否正確？）來當作演化論教學題材。本文只是建議，沒有實證研究。
Flannery（1993）	作者討論了一些演化論相關議題，包括赫胥黎的著作及人類

	演化等，其中提及當時（1993 年）演化論的研究趨勢：以混沌和複雜理論來解釋個體的演變。
Shankar & Skoog（1993）	探討德州公立中學生物教師會把教學重心放在演化論還是創造論。
Scharmann（1993）	作者對如何教授演化論提供了一些建議，包括閱讀自然史、小組討論等，及每項活動所需的適當時間。本文只是建議，沒有實證研究。
Bardell（1994）	討論古希臘時代一些關於生物演變的想法。
Jeffery & Roach（1994）	作者分析了中小學演化論課文，尋找其中的原型概念（protoconcept），作者定義原型概念為：學生在進行下一階段學習前的應具備的概念。作者由文獻中找到十七個重要概念，並檢驗各種版本課文中有或無這些概念。並認為分析結果有助於選用教科書或增補教學內容的參考。

續表 2-5-2

Settlage（1994）	作者先針對學生對演化問題的解釋(如獵豹為何跑得這麼快）做出以下分類：需求、使用、變異、適應、突變。做出前兩種分類的屬於拉馬克想法者，其他的屬於達爾文者，發覺學生在教學前後有明顯轉變，明顯的由拉馬克論轉為達爾文論者。
Swarts *et al.*（1994）	針對美國、蘇聯、中國大陸的十三本教科書演化論內容，進行內容分析，包括了九種課文成分以及八十個演化主題。發現相較於其他兩國，美國版本在非文字敘述部分有最大的篇幅，且最早開始出現演化相關內容。
Trowbridge & Wanderse(1994）	作者在大學演化課堂上，教導學生利用自行製作概念圖的策略，來學習演化論概念。作者除了比較概念圖製作與學習成就的關係外，另外從學生製作概念圖時，找出上位概念（superordinate concepts）的困難度，發覺出大學演化課兩個關鍵的連接處，一是基因流動，一是分子時鐘。
Demastes *et al.*（1995）	本研究分成兩部分，一是重複（Bishop & Anderson，1990）等人的研究，但發現其教學策略並沒有原先研究所提的效果。二是使用 Bishop 等人所設計的評量題目，但改用新的教

	學策略：探索式，且對象改用高中生，結果發現實驗組學生有明顯的運用科學的解釋。
Jensen & Finley（1996）	探討不同的教材（傳統與豐富史實）和教學策略（小組解題與傳統)的組合，對演化論學習的影響。比較前後測差異後，發現結合小組解題與豐富史實材料者，最能提昇正確（達爾文）概念而減少另有概念。
Dagher & BouJaoude，（1997）	探討大學生物主修學生如何將其宗教信念與生物演化論的知識統整。
Soderberg & Price（2003）	以電腦模擬這種新教法來教授演化論
Griffiths & Brem（2004）	討論美國亞利桑納州生物科教師在教演化論時的壓力來源及應付策略，涉及演化論與宗教信念的衝擊下的心理調適。
Anderson & Wallin（2006）	本文重點在發展出一套有助於教學設計的策略：內容導向理論。不過作者以演化論的教學設計當作示範說明，分別從內容特異性、科學本質、一般特性等三個角度，來看本教學設計策略。在演化論內容特異性裡，提到演化論有：演化時間、隨機、遺傳變異、存活生殖與適應、組織層級等五個重要特性。

續表 2-5-2

Geraedts & Boersma（2006）	在認定拉馬克的想法既非牢固而非廣泛的情題下，若教學策略集中在 reinvent，則學生可得到天擇的概念嗎？認定只有學生有「生物個體在其生活史中會去適應生物或非生物的環境因子」及「這些改變可傳至下一代」才算是拉馬克論者。只說「生物體會持續適應環境者」不算拉馬克主義者。
Yoon（2007）	把演化論當中的變異、互動、選擇等概念，應用於課程及教學的啟發中。本文以複雜系統觀來看演變的機制，並沿用此想法把教室視為一群作用體互動之處，並因此導致成員想法跨時間的演變。例如：每個作用體參與討論前，想法各有不同（變異），在小組討論（互動）後，經由一些策略選出（選擇）較佳想法。
（Bromham & Oprandi，2006）	發展一套以演化為主題的網路教學資源，不過本文主軸在於網路教學的議題，作者以造訪率和態度問卷評量這個網路資源，並未提到造訪本網路者演化概念的改變。

綜觀這些學者的研究，並無以「解釋類型」為角度探討演化教學或演化迷思的產生。Flannery（1993）雖然提到 1990 年代演化論有個新研究趨勢辨識以混沌和複雜理論來解釋個體的演變。但他是指在演化科學界的研究上，而筆者本篇論文所要做的，其實是將當時複雜理論研究演化的成果，拿來應用演化教學上。Yoon（2007）雖然也以複雜系統觀來看演變的機制，但其研究主軸為教室互動，

把教室視為一群作用體互動之處，並觀察成員想法跨時間的演變。所以與筆者本論文的研究方向差異頗大。換言之，就筆者目前所能蒐集到的文獻來看，筆者的研究：由「解釋類型」、「複雜系統觀」兩個取向，來審視演化論教學，應是創新而值得嘗試的方向。

第參章　研究方法

為完成研究目的，回答研究問題，本論文研究探索的對象其實有三：中學教科書、中學生演化概念、以及解釋類型和複雜系統觀融入演化的新教學課程。對於中學教科書部分，主要針對不同年齡層和不同版本的生物教科書，了解其如何解釋演化概念，而演化另涉及生態、遺傳等概念，也有必要加以探討，這也可間接推論出學生心中可能會有的演化論想法。對於中學生的演化概念，需要探索的是不同年齡的學生如何解釋演化現象，以及在演化測驗的成績表現如何？如此可以看出學生的另有概念之外，也可以以此為基礎，搭配教科書內容，推論出迷思概念的可能成因。最後，對於未來演化教學有積極助益的是，到底研究者所假設的「複雜系統和解釋類型融入教學有益於演化學習」，是否真能成立，必須得到檢驗，因此必須設計出新課程內容，給予學生學習之後，和未學習此一教材的學生進行比較。整個研究工作應如下圖 3-0-1：

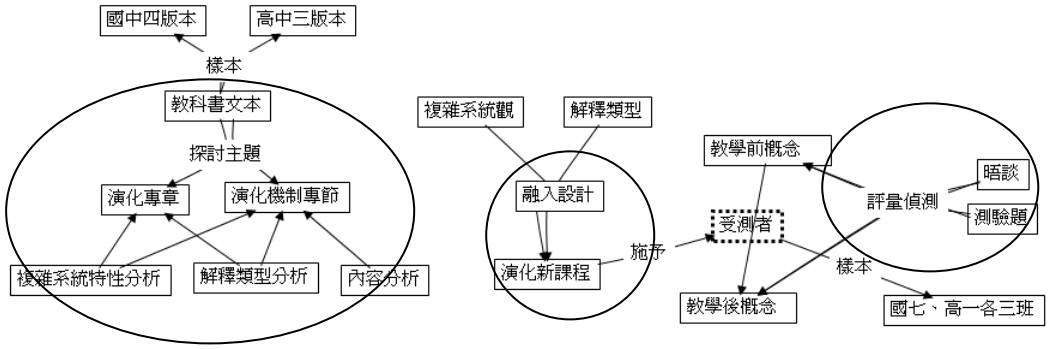


圖 3-0-1 本論文之研究工作

依圖 3-0-1 所示，研究工作主要分三大部分，最左列為教科書的分析，中間圖示為本研究課程的設計，右邊圖示為評量工作。底下將說明本研究的詳細方法，首先在第一節介紹本研究的兩大研究對象，其次在第二節介紹新演化課程內容的設計原理，第三節談的是筆者如何將演化教科書文本轉化成實際教學過程，接著在四、五節分別介紹本研究的各項研究工具以及研究流程，最後在第六節討論資料的分析方法。

第一節　研究對象

本研究的探討對象，包括生物教科書及學生。在生物教科書裡探討的是與演化有較直接相關的內容，例如：遺傳，生物與環境的關係、演化機制等，考量時間與精力，研究者並未全面性地探討中小學所有年級、所有版本的教科書，而是將範圍限定在部分領域和部分年級。另外，根據「演化」在課程的編排，選定國中七年級、高一學生共約二百人左右為研究參與對象。詳細說明如下所述。

一、科學教科書演化內容

雖然學生的確可以從學校校內或校外、制式或非制式管道、報章雜誌、視聽媒體得到演化的相關資訊，不論這些資訊的對或錯。不過教科書可以說是最標準化的學習材料，甚至是大多數教師所仰賴的教學資源（Aleixandre，1994）。尤其台灣的教育系統裡，各類升學考試深深影響了教學方向，為著公平起見，這些升學考試大致皆由教科書課文中取材。因此研究者假定教科書相關於演化的內容，是學生學習演化論的最重要管道，至少是最低的門檻。因此若要討論各級學生學了多少演化內容，分析教科書文本是不可或缺的。

本研究預計分析的教科書內容，指的是縱貫高中、國中的生物科學對於演化的專章。由於目前教科書多元化，各校採用的版本各異，本研究將以筆者非正式訪談所得之各校使用量較高，且收藏於國立編譯館教育資料中心幾種版本做為研

究樣本，如表 3-1-1 所示的國中四版本：國楠、國漢、國教、國康；以及高中三版本：高融、高楠、高康。這幾年高中適逢舊課程（85 年版）、九五暫綱、九八課綱等階段性的課程改革。筆者考量前後期綱要在生物學科的差異並不大，以及論文研究期程等現實因素，因此把範圍侷限到目前（96 學年度）唯一有演化專章的舊課程高三生物部分，在此範圍中，演化專章是在高三下的第十四章出現。另外，現階段台灣國中小實施九年一貫，注重學科的統整，因此在國中階段，生物並非獨立成一學科，亦無獨立的教科書。筆者便以國中自然與生活科技中演化相關部分為探討的對象。就筆者所做的前導性研究發現，國小教科書並無專章探討「演化」，但有一些與演化相關的適應、環境與構造的概念，而國中則有一專章在討論演化，另有其他章節分別討論遺傳、生態等與演化有關連的概念。

科學教科書文本裏，其實富含文字、圖像、表格等各項表徵，本論文研究的焦點放在課文的文字敘述部分，但文字敘述中亦有許多不屬於解釋自然現象的內容。這些內容中有的很明顯不屬於「解釋」，例如：科學家生平的介紹、科學發現的史實，這些不在本研究的討論範圍。

本研究所探討的課文內容範圍，是內容中有關演化的文字描述，雖然生物學各概念或多或少都可和演化扯上關係，尤其是適應、族群、生態、遺傳等四個主題。但限於筆者的能力時間，本論文的課文分析只著墨在「演化」專章上，其他與演化相關的主題或概念，先行忽略不計。

表 3-1-1 本研究所選用分析的教科書及相關章節

階段	版本	冊別	分析章節
國中	國漢	95 年自然與生活科技一下	3-1 生命的起源
			3-2 演化的學說
			3-3 演化的證據
			3-4 生物的演化
	國楠	95 年自然與生活科技第 2 冊	3-1 演化的證據
			3-2 生物怎樣發生演化
			3-3 生命的舞台劇
	國教	96 年自然與生活科技一下	9-1 化石透露的訊息
			9-2 生物演化的理論
			9-3 生物演化的歷史
	國康	97 年自然與生活科技一下	3-1 持續改變的生命
			3-2 窺探岩石中的秘密
			3-3 穿越演化的時空隧道
高中	高融	95 年生物高三下	14-1 演化的原理是什麼？
			14-2 演化有什麼證據？
			14-3 人類是怎樣演化？
	高楠	96 年生物高三下	14-1 演化的原理

	14-2 演化的證據
	14-3 人類的演化
高康　95 年生物高三下	14-1 演化的原理
	14-2 演化的證據
	14-3 人類的演化

二、受試者

經過前導研究，筆者發現國小教科書並未涉及演化論的核心概念，只有相關概念如遺傳和生物與環境的互動。依現有大部分教科書的編排，我國學生第一次正式接觸演化論，應是在國中七年級下學期時。筆者選定台北市某完全中學國中部七年級，高中部一年級，作為施測對象。學生所屬的完全中學屬於社區高中，位於北市文教區，高中入學成績屬於北區高中中段，國中部入學則採學區制，國中和高一屬於常態分班。

國中七年級學生代表未從教科書中學過演化論者。按現有高中的九五課綱，高三選修生物會有一個章節教授演化，而高一學生尚未學習這些高三的演化課程。不過，高一學生經過高中入學考試（基本學測）之後，應對國中課程有過深入學習，可代表已學過現階段國中教科書演化論者。這兩個年級的學生各選取三班，共約二百多名學生進行施測。每班各成一組，各組學生的差異，在於所接受的教學內容不同，三組學生分別接受兼顧解釋類型與複雜系統觀的演化教材（代

號 EC 組：國 EC 及高 EC）、僅融入複雜系統觀的演化教材（代號 C 組：國 C 及高 C）、僅融入解釋類型的演化教材（代號 E 組，國 E 及高 E），各組所接受教學時間各約 2.5 小時。除教學內容不同外，三種不同操作組學生所接受的處理皆相同（表 3-1-2）。同樣都有紙筆測驗前、後測，晤談前、後測。所有同學皆參與紙筆測驗前、後測，另以組（班）為單位，選取晤談樣本，選取的依據是以在問卷紙筆測驗中回答的情形為第一個篩選條件，分高、中、低三群，在符合學生個人意願之下，盡可能考量到學業成就及性別的平均分佈，而選出高中每組八位，國中每班九或十位的訪談對象。紙筆測驗和教學並非另覓時間，而是在班級原生物課時間進行，晤談則是與學生共商後，於中午午休或放學後進行。各組所有操作內容，如表 3-1-2 所示。

表 3-1-2 參與施測的學生，分組及施測情形

	高一、國中七年級 EC 組	高一、國中七年級 C 組	高一、國中七年級 E 組
演化紙筆前測（0.5 小時）	全組學生（高中	全組學生	全組學生
前測晤談（每人各約 15 分鐘）	部分學生	部分學生	部分學生
教學	兼顧解釋類型與	僅融入複雜系統	僅融入解釋類型

（各 2.5 小時）	複雜系統觀的演化教材	觀的演化教材	的演化教材
演化紙筆後測（0.5 小時）	全組學生	全組學生	全組學生
後測晤談（每人各約 15 分鐘）	原接受前測晤談學生紙筆測驗題前後測明顯進步學生	同左	同左

由於由二月中紙筆測驗前測起，至五月中下旬最後後測晤談結束，一共三個月的時間，有些學生因為未能全程參與 2.5 小時的教學，因此不列入紙筆測驗的有效樣本。而晤談的對象中，有一位國中生在後測晤談時因公忙，屢屢無法找到適當時間進行受訪，有數位國中生因為在前測晤談時，似乎有閱讀或表達上的困難，這些國中生因此不列為晤談的有效樣本。最後各組有效樣本人數，如表 3-1-2。

表 3-1-2 各組在各項測驗工具上的有效樣本數

	國 E	國 C	國 EC	高 E	高 C	高 EC
紙筆測驗	28	33	34	33	38	34
前後測晤談	7	9	9	8	8	8
進步組晤談	2	2	2	3	3	3

第二節　演化新課程設計原理

本研究目的之一在於探討解釋類型和複雜系統觀融入演化論文本的可行性，以期對現有教科書關於演化的解釋有所啟發。研究首先在於檢視課文內容是否已有解釋類型和複雜系統觀的概念，依筆者的前導性研究，發覺各版本生物教科書課文中並無此兩大主軸之概念。因此必須先行設計演化的新課程內容。此一新課程內容，是以現有南一版本國中七年級的天擇原理一節為基礎，選用南一版本的原因，是因其是所有版本裡，唯一有稍微涉及到多因子互動和突現想法的課文，不過因為並不明顯，仍有大幅改變空間。以此版本為基礎，配合文獻探討中所發現的複雜系統特性、解釋類型特性，以及演化論相關觀念，建立三篇適當短文教材，來取代現有課文內的解釋方法。

這三篇短文教材(詳見附錄一)，一是完整地融入了複雜系統觀和解釋類型；二是單僅融入解釋類型，而無複雜系統觀概念；三是單僅融入複雜系統觀而無解釋類型。另外，這些教材是提供給學生閱讀之用，為統一教學內容，更有益學生學習，每一份短文教材，另行編定學習單及投影片（參考附錄四至九）。底下首先將介紹何謂融入複雜系統觀，再介紹何謂融入解釋類型，以及其與現有演化課程的比較。

一、複雜系統觀融入演化教學的課文設計

經由第二章文獻探討，我們可知所謂的複雜系統觀是一種整體論的解釋，有別於傳統科學的化約論。這種解釋觀暗示著科學的本質，有一部分在於讓我們能更有理解性的賞析自然界的運作，而非全然是在控制變因下預測未來的結果。在這種認識論之下，搭配著演化論的主題，筆者認為在中學階段，可嘗試融入以下的複雜系統觀概念於演化解釋內容中。

1、多層次：現象（可觀察）與作用體（通常難以觀察）。在演化的主題裡，生物體的構造或族群的興起與滅絕屬於現象，而基因、環境、性狀等屬於作用體。

2、突現、難以預測：某些現象的產生會令人覺得「神奇」，似乎難以從作用體的活動來推測出來，也就是在複雜系統中，「結果」通常難以預測。

3、多因子互動：同質或異質作用體彼此間有著互動，甚至不同層次間（如現象與作用體）也有著互動現象。

4、無中央控制：在複雜系統現象的產生過程中，或許有可能有某些作用體比起其他作用體，對現象的產生有比較大的影響，但是沒有任何一個作用體可以用其「意志」或「規則」來主導現象最後的結果。

參考這些特性所設計出的課文內容如附錄，兩者的差異，主要是後者在解釋演化現象時，引用了不少複雜系統的觀念，例如：「演化是一個複雜的過程，牽涉的因素非常多，包括生物本身、其他生物、環境、時間等等。演化的發生，便

是在這些因素的互動之下才能發生（多因子互動）。首先我們可以說，除了人類之外，沒有其他生物知道身體要作怎樣的改變，才是對自己有利的，長頸鹿本身並不知道脖子長短有何優劣？他體內的基因也無法知道要怎要才能變成長脖子？（無中央控制）。、、、因此所謂的競爭，不一定是同種生物間的競爭而已，也有可能是和其他生物的競爭（多因子互動）。、、、難道長脖子長頸鹿真的比短脖子的優秀嗎？短脖子的會不會行動較快速？會不會更容易喝到水？那為什麼短脖子不是最後的勝利者？答案或許是因為當年長頸鹿生存的環境，就是適合長脖子，可能掠食者較少，水分容易取得，但低處食物不多，因此加加減減起來，對長脖子有利。換個角度，如果當時它們生活的環境，掠食者很多，跑得慢的會被吃掉，沒有大樹只有草原，如此，長脖子和短脖子，誰有競爭優勢呢？現在地球會只有「短頸鹿」而無「長頸鹿」吧？（突現、難以預測）

環境會影響生物改變，但環境自己也會改變，、、、生物不能肯定有哪一種性狀特別適合環境？或是適應未來的環境。、、、（多因子互動、突現、難以預測）」

而在現行課文中，解釋演化現象，是以達爾文天擇說為主，亦即包含個別差異、繁殖過度、生存競爭、適者生存、性狀遺傳、族群內性狀比率改變。由於天擇說有其正確性，故所謂複雜系統觀融入課文，僅是彌補解釋演化的不足，仍舊大部分以天擇說為解釋演化的根本，例如：依舊採納「適者生存」的觀點，但會

強調所謂「適者」得考量多項因素才能稱得上適者；但部分天擇說原理要件，如「繁殖過度」，雖在達爾文天擇說中總是被提及（尤其是討論達爾文天擇說想法起源時，幾乎都會提到部分靈感來自馬爾薩斯的人口論），在複雜系統中，這一要件會被弱化，因為生存競爭不僅是在族群內，其他具有類似生態地位的生物亦會與族群的個體產生競爭，危及其生存，而這點卻與族群的生殖過度沒有太大關係。

為了要減少變因，與現行教科書文本的字數、段落不能差距太多，因此有部分的現行教科書文本提及的概念，必須要刪去，以節省篇幅。衡量之後決定在新課文中刪除神創論，原因在於依文獻和筆者的前導研究顯示，台灣的中學生少有神創論的想法，這是因為受西方宗教影響不大所致，因此刪去此概念，應對演化論的認識無礙。詳細的現行課文與複雜系統觀融入課文的比較，如表 3-2-1 所示。

表 3-2-1 現行課文（國中七年級）與複雜系統觀融入課文的異同

重點概念	現行課文	複雜系統觀融入之課文
神創論錯誤	有	無
生物會演變	有	有
拉馬克用進廢退說錯誤	有	無
演化是對環境的適應	有	有
天擇說概念	有	有，但結合複雜系統觀
長頸鹿演化例子	有	有，但結合複雜系統觀
不同層次	不明顯	刻意提及
突現、難以預測	不明顯	有
多因子互動	不明顯	有
無中央控制	不明顯	刻意提及

二、解釋類型融入演化教學的課文設計原理

第二章文獻探討中提及，生物科學在解釋自然現象時，主要以功能性解釋與機制性解釋為主，少有通則性解釋（Salmon，1998）。而也有科教研究者，發現學生在解釋生物現象時，傾向於用’why’而非’how’的解釋方式（Abrams 和 Southland，2001）。在該研究中，’why’問題的解答，類似於科學哲學所定義的功能性解釋，而’how’問題的解答，則類似於機制性解釋。換言之，學生可能僅會

用、或僅偏好、或是僅意識到在解釋生物現象時，要使用功能性解釋。例如：「北極熊之所以白色，是為了要適應北極的環境」，但「北極熊之所以白色」這個現象，也可以用天擇，也就是演化機制這種機制性解釋來說明。另筆者從前導研究也發現，這種情形普遍存在於高一學生，這或許是文獻記載學生難以移出拉馬克用進廢退概念的可能原因。因此有必要另行設計強調強調功能性解釋與機制性解釋並存的演化課文，在此稱為解釋類型融入演化教學的課文。

這種類型的課文，仍舊以現有南一版本國中七年級的天擇原理一節為基礎，配合文獻探討中解釋類型特性來設計。所謂的解釋類型融入演化教學，主要在於強調演化此一現象，可同時用功能性解釋，也就是解釋「為什麼要如此？」以及機制性解釋，也就是解釋「為什麼能如此？」例如：「當我們去看生物適應變動的環境，我們其實就是在看「演化現象」，例如：北極熊演變成現今的白色，而我們要解釋為何會有這些演化現象時，可以有兩個層面，一個是「**為什麼要？**」，另一個是「**為什麼能？**」，也就是「北極熊**為什麼要**變成白色？」以及「北極熊為什麼能夠變成白色？」第一個問題可以用「**功能**」的角度回答：因為這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，北極熊的白色使它適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。但第二個問題：「北極熊為**什麼能**夠變成白色呢？」這個問題可以用「**機制成因**」的角度回答，討論演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？」

另外，同樣為了減少變因，新舊兩課文的段落和字數需盡可能相同，因此新

課程得刪掉一些原有內容,表 3-2-2 呈現了現行課文與解釋類型融入課文的異同。

表 3-2-2 現行課文（國中七年級）與解釋類型融入課文的異同

重點概念	現行課文	解釋類型融入演化論課文
神創論錯誤	有	無
生物會演變	有	有
拉馬克用進廢退說錯誤	有	有，但另強調與混淆解釋類型有關
演化是對環境的適應	有	有
天擇說概念	有	有，與原有完全相同
長頸鹿演化例子	有	有，與原有完全相同
解釋類型差異	不明顯	刻意提及

三、複雜系統與解釋類型共同融入演化的課程教材

此份教材同時結合了上述兩種重要的修改，亦即不僅有著解釋類型融入，也有複雜系統觀融入，相關重要的概念在此不需贅述，直接以表 3-2-3 表列此一新課文與現行課文的差異，另值得一提的是，由於必須容納入兩大理論，因此修改後的新課文字數明顯地較原有課文為多。

表 3-2-3 現行課文（國中七年級）與複雜系統觀、解釋類型融入課文的異同

重點概念	現行課文	共同融入課文

神創論錯誤	有	無
生物會演變	有	有
拉馬克用進廢退說錯誤	有	有，但另強調與混淆解釋類型有關
演化是對環境的適應	有	有
解釋類型差異	不明顯	刻意提及
天擇說概念	有	有，但結合複雜系統觀
長頸鹿演化例子	有	有，但結合複雜系統觀
不同層次	不明顯	刻意提及
突現、難以預測	不明顯	有
多因子互動	不明顯	有
無中央控制	不明顯	刻意提及

第三節　教學操作流程

教科書的文字內容，教師的教學，學生的學習成就，三者間的因果連接受到太多因子的影響。因此，並非教科書內容中提及到某些特性，學生就一定得到某些助益。不過，本研究仍是假定教科書主導了教師的教學，最後影響的學生的學習成果。如果教科書提及某些重要概念，教師應該會用適當方式，有效的讓學生得到或建構出這些概念，並因此讓認真參與學習的學生有明顯的進步。上一節主

要提到本研究三個操作組新修訂課文，與現行課文的差異，也就是修改了哪些內容。而本節主要目的，在談到筆者如何將課文的內容，設計成學習單和投影片，課文與學習單如何交互搭配，以及本研究的教學過程，實際進行狀況。本節的描述應可讓本研究有較為清楚的效度，以及更高的實際應用或後續推廣價值。本節將首先提到如何由課文內容，改寫成學習單與投影片，其次提到本研究實際操作時，如何應用課文內容、學習單、投影片。

一、課文與學習單、投影片

前一節介紹了三個不同程度、方式改良的演化課文，分別融入了解釋類型、複雜系統、以及兩者兼具（詳見附錄四至九）。但教學時，不可能只把課文文字帶入教室，因此把課文內容改寫成教學內容實有必要。本段介紹本研究中，依據改良課文內容所編撰成教學材料內容。

（一）三組學習單共同部分

1、 架構相同

三組教學材料的學習單，都包含以下五大部分：引發動機的討論問題、課文內容、針對課文內容的剖析說明、課後討論、總結。

2、 部分內容相同

三組內容相同部分有二：引發動機及課後討論。所謂引發動機，是在引入課文內容之前，首先討論四個演化相關的題目，此四題的選擇各有其意義。討論一：「想一想，長頸鹿的脖子為何這麼的長？」可以說是在演化課題上最常見的討論題目。討論三：「想一想，北極熊為何是白毛？」與討論一相同，都在探討某一有用性狀的演化，不過比起討論一，較不是常引用的例子。討論二：「想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？」相對於討論一、三，此議題在探討某一無用性狀的演化，或是更白話一些：「退化」。討論四「齧齒類在人類滅絕後，會演化成何種生物」，相對於討論一、二、三皆在討論現有生物某一特徵的演化，討論四在討論現有的生物未來會如何。討論四在後來也將會呼應到「演化是突現而難以預測」這一概念。

而課後討論的題目完全和引發動機的題目相同，差別在於引發動機時，主要由學生提出可能解答，而課後討論時，主要由筆者依據不同組別的教學內容，提供適當解答。

（二） 三組學習單的差異

1、 課文內容與教學材料

三組的課文內容正如前一節所示，分別納入表 3-2-1~3 所示的諸特性，而有所不同。C 組（僅含複雜系統特性）課文全文一共 5 段，34 行，1093 字；E 組（僅含解釋類型）共 5 段，33 行，1081 字；EC 組（含複雜系統和解釋類型）共

6 段，50 行，1628 字。在課文內容的設計上，盡量使每一組的課文字數維持一定，以減少混淆因子，但因為 EC 組，包含較多的特性，故課文字數無可避免地比較多，課文詳細內容可參見附錄一。

各組的學習單和教學投影片互相搭配，E 組共有 25 張教學投影片，C 組共 28 張，EC 組共 32 張，各組學習單則都控制在 7 頁。學習單與投影片以及各組相關特性之間的搭配如下一段所述，投影片語學習單的實際詳細內容則如附錄四至九。

2、 課文與課文說明

為了授課者（即筆者本人）能順暢忠實有效的將課文內容中含有的概念，傳授給學生，因此學習單包含了「針對課文內容的說明」。由於三組的課文互有異同，因此三組在此一部分也將有所異同。

（1）C 組的課文說明主要包括四部分

針對課文第一段（搭配投影片編號 9-13）: 生物朝著有利於自己的演化過程。用學習單編號第一、二、三大點來說明：否定拉馬克說法、介紹達爾文的天擇說、支持天擇說的理由。

針對課文第二、三段（搭配投影片編號 14-17）: 有許多因素影響生物演化（多因子互動）。用學習單編號第四大點來說明：所謂的生存優勢可以有許多不同層

面的考量，以及機率因素也可能影響演化。

針對課文第四段（搭配投影片編號 18-20）: 環境不斷變動，用學習單編號第五大點來說明。此處同時整理了複雜系統的諸多特性。

針對課文最後一段（搭配投影片編號 21）: 不可預測。以學習單編號第六大點來說明。

學習單最後總結（學習單第七、八、九大點，搭配投影片編號 27-28）分別暗示了：演化有兩個「為什麼」問題（不同於解釋組的清楚說明），以及預測演化方向的困難。

（2） E 組的課文說明主要包括三部分

針對課文第一段（搭配投影片編號 9-11）: 演化的兩個層次問題。用學習單編號第一、二、三、四大點來說明：意識到「為什麼要」、「為什麼能」兩種問題，說明兩種問題的目的，說明兩種問題該如何解答。

針對課文第二段（搭配投影片編號 12-14）: 拉馬克的錯誤。用學習單編號第五、六兩大點來說明：拉馬克學說的內容，拉馬克學說為何被淘汰。

針對課文第三、四段（搭配投影片編號 15-16）: 達爾文天擇說的正確。以學習單編號第七、八大點說明：達爾文天擇說的內容，為何天擇說被支持。

學習單最後總結（第九大點，搭配投影片編號 23-25）再說明了演化的兩個

問題，以及應如何預知演化的結果。

另外，E 組由於少了複雜系統的內容，顯得較單薄，為使各組教學時間差不多，因此 E 組在第二階段的討論問題時，比其他兩組另加了臨時討論問題，討論現有其他生物的演化現象及機制。

（3） EC 組的課文說明主要包括四部分

針對課文第一段（搭配投影片編號 9-11）: 演化的兩個層次問題。用學習單編號第一、二大點來說明：意識到「為什麼要」、「為什麼能」兩種問題，說明兩種問題的目的，說明兩種問題該如何解答。

針對課文第二段（搭配投影片編號 12-14）: 拉馬克的錯誤。用學習單編號第三、四兩大點來說明：拉馬克學說的內容，拉馬克學說為何被淘汰。

針對課文第三、四段（搭配投影片編號 15-22）: 天擇的多因子機制。先以學習單編號第五、六兩大點說明天擇說的內容，再以第七、八大點說明，天擇需考量多方面因子。

針對課文第五、六段（搭配投影片編號 23）: 演化的方向、結果難以預測。則以學習單編號第九大點說明。

學習單最後總結（第十、十一、十二大點，搭配投影片編號 30-32）和 C 組差不多：說明演化有兩個「為什麼」問題，以及預測演化方向的困難。

二、實際執行狀況

考量受測學校段考、學校活動等現實因素，國中與高中兩大組的教學，分別在四月初和五月初完成，如表 3-3-1，因在去年十二月份，便已進行過前導研究的教學演練，故各組的時間拿捏頗為妥當，皆能於 2.5 節課結束，同時在第三次上課的後半節，隨即進行後測。各組的授課教師即為筆者本人，皆使用到投影機、版書等教學設備，每位學生皆有一份學習單，筆者要求學生在每次上課完畢，都必須交回該學習單，而交回的學習單內應有該次上課的相關內容筆記。教學過程主要以講授和討論交替進行，配合投影片、課文段落、學習單內容，分別有教師講解、課文朗讀、問題討論、投影片呈現等過程，這些過程沒有一定的先後順序，會搭配進度和學生的問題，適時的轉換教學步驟。

表 3-3-1 教學操作詳目（日期-節次）

國中部	組別	上課一	上課二	上課三	後測
J701	複雜（C）	0402-2	0409-2	0416-2	0416-2
J706	解釋（E）	0331-4	0407-4	0410-5	0410-5
J710	雙重（EC）	0409-7	0410-4	0416-7	0416-7
S106	解釋（E）	0505-2	0509-4	0512-2	0512-2
S107	雙重（EC）	0506-3	0509-5	0513-3	0513-3
S108	複雜（C）	0505-7	0508-1	0512-7	0512-7

值得一提的是，國中實驗課程教學進行前，班級原生物老師陳老師，已進行國中原有課程演化部分的教學（翰林版），並在實驗課程教學中，也進行了演化證據等部分的教學。由於三個班都由有近二十年教學經驗的陳老師教學，因此應不致對三組表現差異有所影響。但對前、後測差異，或許有影響，對此一部分，筆者針對前後測進步頗大的同學進行晤談，了解其自覺答題進步的原因，是來自原有課程亦或新課程？兩課程內容的差異？對新課程印象最深的內容，以期對新課程的功效歸因。而高中部份在前、後測間，學生所學的高中生物單元為細胞及生物分類，除了筆者這次的演化教學外，並未在其他課堂上學習到演化的相關內容，

第四節　研究工具

除了前段所敘述的各式改編教材之外，本研究的研究工具主要有下列兩項：演化論紙筆測驗、演化論晤談問卷。前者主要目的在於以量化角度，快速看出學生學習前後的改變情形，後者主要用於了解學生學習前後概念類型改變的詳細狀況。底下分成兩部分，依序介紹之。

一、演化論紙筆測驗：

（一）設計理念

本問卷(詳見附錄三)主要目的在以量化的數據，了解一群學生在前後測間，對於演化論理解，演變的趨勢。國內外已經有許多的文獻在探討此一主題，研究者發現與此相關的主題，包括宗教信念與演化論理解；演化論的迷思概念；以本體論角度看演化論。後兩者常以拉馬克的目的論典範，作為學生演化論迷思概念的核心，並與科學概念的達爾文天擇說作對比。

但從第二章的文獻探討可知，演化這個現象必須引入突現、不可預測的觀點，而演化發生內部的機制，也必須引入多因子互動的複雜系統觀。如圖 3-3-1 所示，現在的生物種或生物某一性狀，來自過去的生物種或某一性狀，其間的演變過程受到氣候、競爭者、掠食者、本身基因變異種種因子的互動影響，因此演

變方向並非一直線(過現：過去到現在), 同樣的, 現在的生物或生物某一性狀, 將受到可知未來的可知因子(現未：現在到可確知的未來)或不可知未來的不可知因子的作用(現遠未：現在到遙遠的未來), 而有大致可猜測或是完全無法確定的演化方向。筆者認為現行教科書內容雖駁斥了拉馬克迷思, 但其實也過度簡化了天擇說(圖 3-3-2), 例如：所謂「生物適應環境而演化」, 可能會誘使學生誤將「環境」視作是單一因子, 且可能會誘發定向演化(決定論)的迷思。而使用現今學校測驗使用的演化試題, 並無法偵測出這些迷思, 因為這些試題通常是診斷拉馬克迷思和天擇說細部機制概念所用, 因此必須用新開發的題目, 來診斷這些概念。

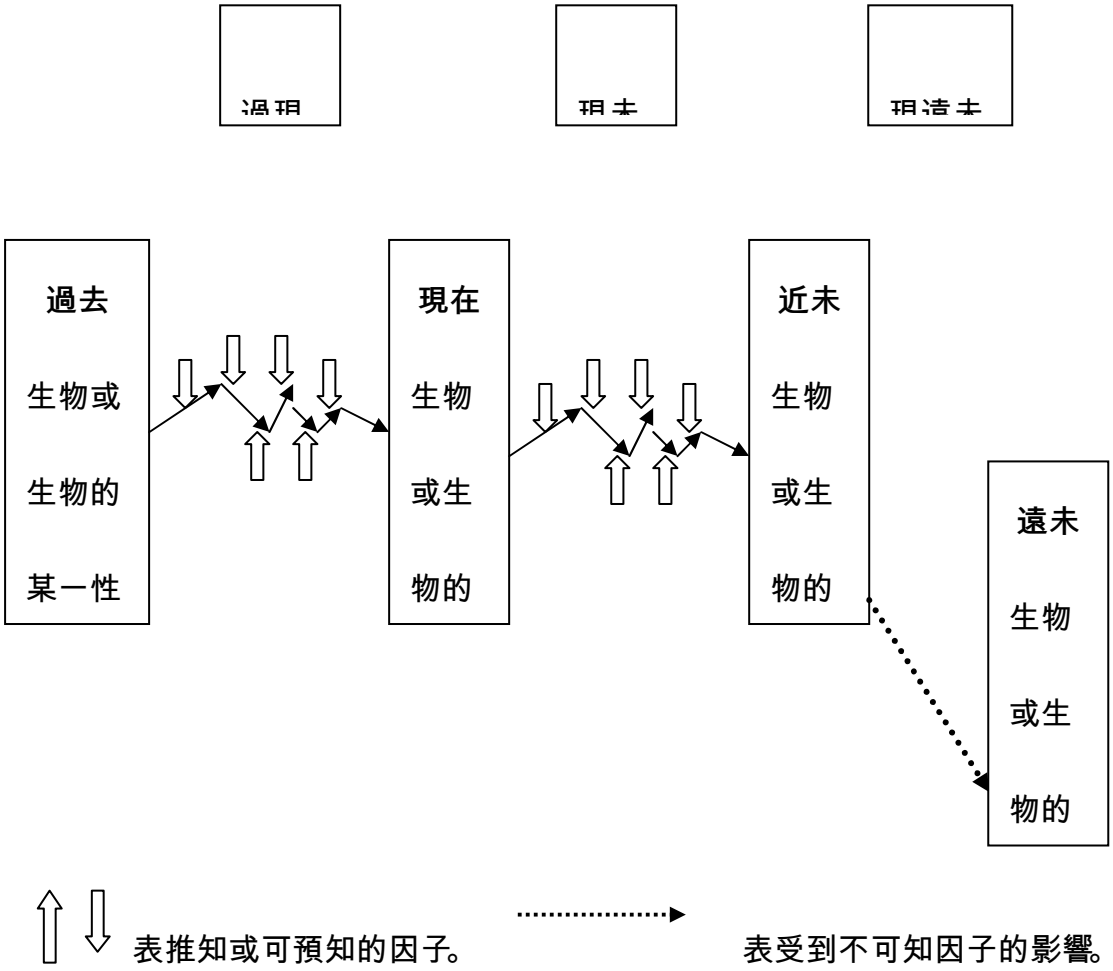


圖 3-4-1 以複雜系統觀探討演化方向的示意圖

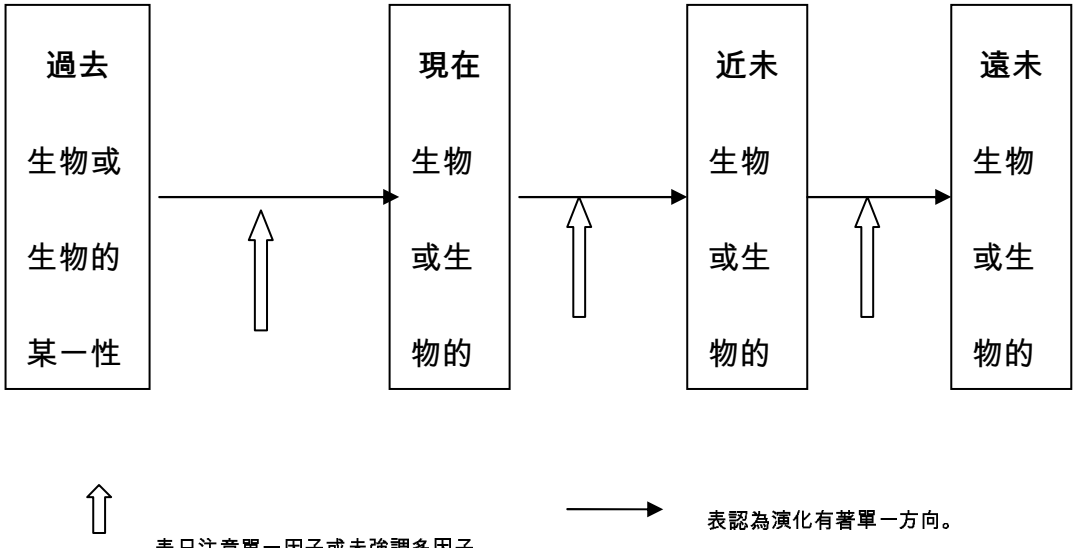


圖 3-4-2 現今教科書對演化方向的可能過度簡化

因此本測驗題的設計包含三個角度，各成一種考題類型，每種考題類型各 6 題：

表 3-4-1 演化論問卷中三種考題類型

時間　過去	現在	未來
角度		
過現　A————	A’	
現未	C————	C’
現遠未	D————	———————— D’

「過現」角度：「A’生物為何是今天這個樣子？」這是演化論議題中最常探討的，例如：長頸鹿脖子為何那麼的長。

「現未」角度：「C 在可見的未來會如何？變得怎麼樣的 C’？」這在一些討論演化論的文章甚至實驗出現過，例如：把老鼠的尾巴截斷五十代之後，會如何？

「現遠未」角度：「D 在遙遠的未來會如何？變得怎麼樣的 D’？」discovery 曾對此一主題做過幻想式的創意影片呈現，另外有些未來學學者也提及過，例

如：一本有高度想像力的書（Dixon，1998）。這一角度的題目又可細分為二，一是雖然是去預測遙遠的未來，但設計的題目，可看出影響演化的大部分因素被確定。例如：「把一群斑馬關在人類所建造的動物園裡，經過數十萬年之後，人類和動物園的設施都還維持原貌，而當時那群斑馬的後代呢？」第二種次角度是題目中無法獲知在漫長年代裏，有何影響演化的因素。例如：「關在動物園的一群斑馬，在人類滅絕的數十萬年之後，當時那群斑馬的後代會變得如何？」

另外，為了得到更有意義的量化數據，每一選擇題的四個選項，分別設計成：目的論（拉馬克想法、用進廢退說）、單因子天擇說（答案基本可屬正確，但未考量足夠的因子互動）、以及最正確的複雜系統想法（以下統稱多因子天擇）。筆者希望能將學生在該紙筆測驗的回答，不僅區分成對與錯二分，甚至可以區分成錯誤、部分正確、完全正確的三分。

為更加確定學生的概念類型，部分測驗題設計成開放選項，亦即學生在選取這個選項之後，必須加以說明，此設計的目的亦在增加資料的豐富度，使筆者更能確定學生概念為何？開放性選項不一定落在最正確答案，也有可能在其他答案選項上，如此應可避免猜題的偏差。各題目及其選項詳細分類，如表 3-3-2 的雙向細目分析表，表 3-3-3 提供了一些試題範例。

表 3-4-2 **測驗題雙向細目分析**

題	選項	分類	目的論	單因子天擇	多因子天擇

號	試題類型			
1、	過現	B	A、C	D
2、	過現 *	C	B	A
3、	過現	A、C	B	D
4、	過現 *	B	C	A
5、	過現	A，B	C	D
6、	過現 *	B	A	C
7、	現未 *	A，(B *)	C (B *)	D *
8、	現未	B、C	D	A
9、	現未	A、B	D	C
10、	現未 *	A、B、(D *)	C、(D *)	
11、	現未 *	B	A，C	D *
12、	現未 *	A，B	C	D *
13、	現遠未 *	A、(B * C *)	(B * C *)	D *
14、	現遠未	B	A，C	D
15、	現遠未	C，D	B	A
16、	現遠未 *	A、(D *)	C、(D *)	B
17、	現遠未 *	A	B，C	D *
18、	現遠未	C，D	B	A

合計	26+（0-5）	20+（0-5）	18

有開放性選項的題目，標記為 *

表 3-4-3 題目範例

角度	範例
過現	數萬年前，地球曾經有一種生物「愛爾蘭鹿」，雄鹿都具有可達三公尺長的大角，而且角越大者越容易得到雌鹿的青睞。這種鹿在大約一萬多年前絕滅，你覺得最可能的原因為： 1. 受到劍齒虎的過度捕殺，因而絕種。 2. 鹿的角演化得越來越大，最後脖子難以負荷大角的重量，因此死亡率提高，最後絕種。 3. 因為基因突變，導致鹿角變得很小，無法適應環境需求，因而絕種。 4. 因為氣候改變，導致原有的大角鹿不易存活，而新品種又未及時產生出來，因而絕種。
現未有開放性選項	一個正港台灣女性因為從小在非洲長大，膚色曬的較黑，後來她嫁給一位有類似身世的非洲台灣僑胞，之後生了小孩，他們的小孩出生時的皮膚顏色，應該會是？ 1. 在陽光充沛的非洲，黑皮膚可避免紫外線傷害，為了適應環境，以得到生存優勢，所以出生時皮膚顏色便會比父母還黑一點。 2. 父母的膚色都已經變黑，小孩出生時體色也會變比較黑。

3. 出生時皮膚顏色和一般的台灣嬰兒差不多，明顯比一般的非洲小孩白。

4. 其他_____

現遠未有開放性選項

木柵動物園裡飼養著一群黑猩猩，但地球全人類突因戰爭滅絕，因此這群黑猩猩自生自滅，經過數十萬年之後，你覺得當時那群黑猩猩的後代會變得如何？

1. 已經演化成人類。

2. 還是維持原來的黑猩猩樣子。

3. 已經演化成非人類的其他種生物。

4. 其他_____

（二） 信度與效度的建立

這份測驗題最早於九十六年七月份參考相關文獻而初步編製出來，隨後給予數位高一及高三學生試做，筆者根據其回答情形及試題的難易、鑑別度，並於九十六年八月底，接受數位科學教育研究所博碩士研究生及一位高中資深生物教師提供的修改意見後，重新修正該題目。修改後的題目分別在九月初於北市內湖區某國中七年級、八年級、高中一年級、三年級各一個班級共約 140 人，進行較大規模的試測，同樣根據試題反應出來的難易度、鑑別度，及一位國中資深教師和一位生物背景的科學教育碩士實習教師的意見，再度對題目進行修訂。九十六年十一月底、十二月初，商請兩位生物背景的科學教育教授，為題目提供審定意見。因此此份問卷是經多次修正後，經專家意見後方予定稿，經 spss 統計軟體計算，本題目的 Cronbach's α 為.722。

另外，在前導研究中，筆者選取晤談的對象為在測驗題表現偏於一類者，如偏於拉馬克迷思，偏於複雜系統觀等。經由晤談之後的診斷，發現在測驗題表現偏於複雜系統觀者，也在晤談時表現出偏於複雜系統想法，反之亦然。換言之，測驗題與晤談兩者互有參照效度。

二、演化論晤談問卷

（一）發展過程

晤談問卷（詳見附錄）編製的目的在於協助紙筆測驗，增加收集資料的豐富度，以提昇診斷的正確性，俾更能清晰探索學生所擁有的演化概念。和測驗題相同的是，本問卷亦歷經多次修正方定稿完成，同樣在九十六年七月即以最早的版本晤談六位高一男生，原始版本共有八個題目，晤談後根據學生對試題回答情形，修飾題目的文字敘述及刪除部分贅題，其間並參酌數位科學教育所博碩士研究生、一位高中生物資深教師、一位國中自然科教師、一位高中生物科實習老師等人的意見，完成修訂版，再商請兩位生物背景的科學教育教授，為題目提供審定意見後，完成四大題的晤談問卷，提供來進行前導研究。經九十六年十二月的前導研究，實際晤談共 33 人次之後，筆者考量實施可行性及資料收集的完整性，認為此問卷可以再刪除一題，但須更加結構化。因此本問卷亦歷經長時間的發展修訂完成。本問卷屬於半結構式問卷，共分成三大題，每一大題又細分成數小題，題目的設計原理和每一題所欲診斷的概念內容如下段所述。

（二）設計原理

延續紙筆測驗題的設計原則，晤談題的數個小題，盡可能含括偵測「過現」、「現未」、「現遠未」三個時間尺度的演化現象解釋。例如：第一大題：「科學家用複製的方式，培育出數百株基因完全相同的一年生植物。現在將這些植物分別放在乾熱、濕冷兩種不同的環境中」，這一大題包含有三個小題「這些植物的下一代會有何變化？」（現未）、「經過數年後，這些植物會演化成何樣？」（現未）、「經過千年後，這些植物會如何？」（現遠未）。第二大題：「若地球走向冰河時期，地球的生物會如何？」，同樣包括三個時間尺度：「數年後會如何？」（現未）、「數百年後會如何？」（現未）、「數千年後會如何？」（現遠未）。第三大題：「若六嵌多萬年前那顆隕石未撞擊地球，則現今地球的生物景觀會如何？」（過現）

這三大題的設計各有其特別意義，第一大題和第二大題題型看似相同，因此，第二大題可作為第一大題的比對，若是第一大題中，學生的回答情形，難以讓晤談分析者做出編碼的判斷時，可藉由第二大題的回答做出彌補或校正。另外，第一大題題目探討的生物為：「複製出來的一年生植物」，而第二大題為「現有的地球生物」，因此第一大題和第二大題有著一個重大差異是：前者一開始時是基因完全相同的植物，而後者是原本就有基因多樣性的生物（同樣學生會鎖定在動物身上來回答），這可以讓筆者偵測分析出，不同學生對於「遺傳變異」或「個體差異」起源的不同理解。第三大題屬於「過現」題，假設出與事實相反的

「導致恐龍滅絕的隕石未撞擊地球」，可以回答「人是否依舊出現？」與「恐龍是否仍存在？」了解學生是否有「定向演化」、「多因子互動」、「不可預測」等複雜系統觀的想法。因此第三大題雖然比較不能分析出天擇的細部原理，但可就「複雜系統觀」之有無，使筆者更加清楚辨別學生的概念模式。

每一小題中再次分成數個小問題，以半結構方式偵測學生的概念。：例如：第一小題「這些植物的下一代會有何變化？」，學生的反應可能有「開始因應環境發生變化」、「沒有變化」。每一個反應，將進行進一步追問，「為什麼要變化？」、「為什麼能夠變化？」、「為什麼沒變化？」針對「為什麼能夠變化？」此一反應，將會依據拉馬克、天擇說和複雜系統的觀念為軸（參見下節資料分析），偵測學生概念模式。

（三）施測方式

無論前測與後測，都施用相同的這三個晤談題目。不過前後測時，仍有些差異，在前測對學生進行晤談時，筆者朗讀題目，學生同時閱讀題本。接著筆者確定學生能否了解題意，例如：「複製」、「一年生植物」，如果學生表達其不了解題意，筆者將解釋之，隨後針對每一小題進行半結構晤談。在後測時，同樣由筆者朗讀題目，學生同時閱讀題本，同樣隨後針對每一小題進行半結構晤談。但後測時通常不再解釋題意，除非學生表示忘了某些名詞的意義。

另外，後測時，晤談者會加問以下幾個問題：「對本次演化課程中，最有印

象的內容為何？」、「與國中所學的(國中老師所教的)演化內容有何差異？」、「什麼是演化的兩個層次解釋」(針對 E、EC 組)、「什麼是達爾文天擇說所未談到的內容」(針對 C、EC 組)，問這些問題的目的是，希望搭配這些受訪學生的前後測間進步情況，以及即在這些問題中反應，設法為教學內容與教學成效的相關，提供進一步訊息。

承第一節研究對象所示，受訪者中除前、後測皆參與訪談的學生之外，另包括在測驗題後測中進步甚多的學生。這些學生同樣接受三個晤談題，以質性方式分析量化所得的結果是否屬實，另外這些學生也同樣接受「對本次演化課程中，最有印象的內容為何？」、「與國中所學的（國中老師所教的）演化內容有何差異？」、「什麼是演化的兩個層次解釋」(針對 E、EC 組)、「什麼是達爾文天擇說所未談到的內容」(針對 C、EC 組) 等問題，若這些進步組同學，在這些問題上表現極佳，都能回答出，或許代表著上課確有成效、而且筆者自訂的演化教育新增內容（解釋類型、複雜系統）確能對演化概念的理解有所助益。

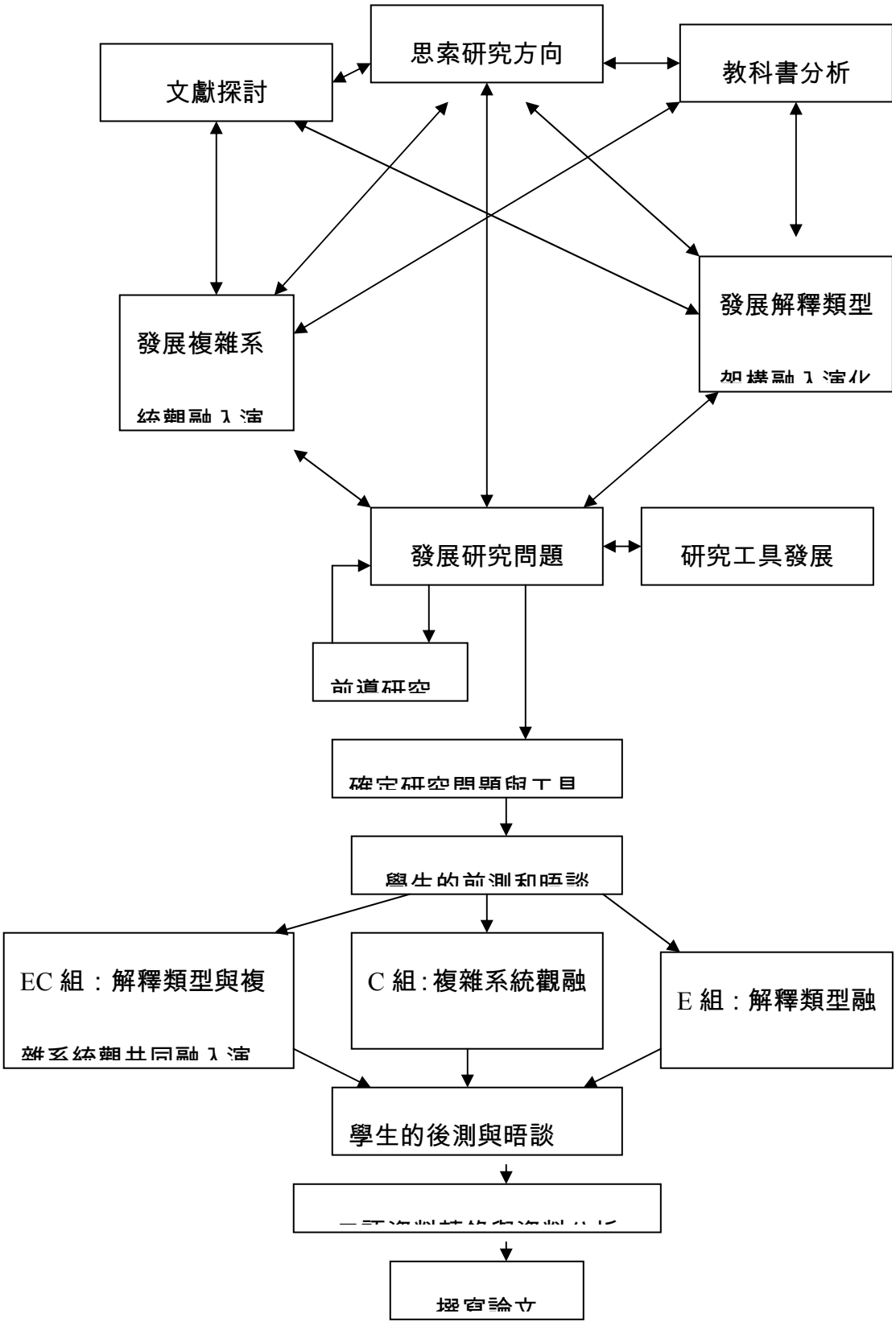
第五節　研究流程

本論文研究可分成以下幾個階段：第一階段為醞釀階段，此階段大約由 95 年 1 月至 96 年 10 月，最初研究者心中並無確切的研究方向，靠著不斷的閱讀、由文獻中得到一些啟發，最後再逐漸抽絲剝繭把模糊的念頭逐漸釐清，進而落實成研究目的及問題。這段期間，就文獻閱讀的心得及一些課程綱要的分析，分別發表了兩篇文章，並於 96 年 8 月底至歐洲科學教育研討會（Esera）發表一篇研究（壁報展示）（Tang & Chiu，2007； 湯偉君 & 邱美虹，2007；submitted）。

第二階段為準備階段，約由 96 年 3 月至 96 年 12 月，與醞釀階段在時間上有部分的重疊，在此階段的早期，研究者閱讀了中小學各版本的生物教科書，了解學生到底學了哪些「演化」內容，此階段晚期則是在明確確定研究問題後，進行研究設計，包括研究流程、問卷、教材等研究工具的發展，建立信、效度等。

第三階段為實施及分析階段，由 96 年 12 月至 97 年 6 月，96 年 12 月首先進行論文的前導性研究、分析，前導性研究有台北市某完全中學高一兩班學生參與，兩班學生。前導研究的經驗與結果，使得研究目的和問題更加清晰完整，97 年 2 至 6 月進行正式研究，同時完成資料分析及論文的撰寫。可以說在本篇論文研究的早、中期階段，其發展軌跡並非線型，而是複雜的各程序互動之後，才真正確定研究方向，正如本篇論文的主軸之一，這篇論文的塑造，也可說是一種複

雜系統運作的結果。全部流程如圖 3-4-1 所示：



文獻探討及初步建立研究目的（9501~9610）研究工具發展（9603~9701）資料收集和分析（9702~9705）完成（9706）

圖 3.5.1 研究流程圖

第六節　資料分析

本研究所收集的資料，主要分成三大部分，以回應六個研究問題。第一部份為現階段中學教科書演化內容的分析。第二部分為以紙筆測驗收集得來的國中七年級與高一學生，在演化論上原有的以及教學之後的概念改變情形。第三部分為以晤談收集得來的國中七年級與高一學生，在演化論上原有的以及教學之後的概念改變情形。茲將各項資料的分析處理方式依序詳述如下：

一、演化相關課文分析

承上述研究對象所討論，所謂演化相關課文的分析，指的是中學生物相關教科書各 3-4 個版本，「演化」專章以及演化專章內「演化機制」專節的文字敘述。這部分的分析項目有三，一是內容分析、二是解釋類型分析，三是複雜系統概念分析。所謂內容分析指的是先以概念圖分析教材內容中出現的概念、概念的連結，再針對這些概念進行內容分析。所謂解釋類型分析是以文獻探討所提及的「解釋定義」、「解釋類型」分析教材正文文字敘述中出現的「解釋」。所謂複雜概念分析指的是分析教材正文文字敘述中，是否出現文獻探討中所提及的複雜系統特性。底下將詳細介紹這三種分析：

（一）內容分析

「內容分析法」，又稱為文本分析法，它是社會科學中注重客觀、有系統和量化的一種研究方法，發展的初期主要是針對文章或媒體內容特殊屬性做系統化的和客觀化的分析，以獲得可重複性和有效性的結論。目前在教育領域方面，課程教材的分析就常利用此種研究方法來進行分析（楊國樞 *et al.*，2001）。內容分析也可有許多方式，本研究採取概念圖分析法，也就是以概念圖呈現不同版本、不同學習階段，教材內容的異同。

參考 Novak（1990，1995）所提出的概念圖製作步驟，本研究製作概念圖的方式如下：

1、閱讀教材內容。

2、選出內容中重要的概念，包括專有名詞和事件。

3、找出主概念與次概念。

4、找出連接詞，利用連接詞使得兩個概念連結起來，以此方式使得相關概念之間互相連結成概念網。

5、觀察連結後的概念網，察覺是否形成兩個以上的概念網。

6、找出連結詞，將概念網連結起來。

7、經過修正，形成最後完成的概念圖。

各不同版本、不同學習階段的教材文字，轉換成概念圖表徵之後，再以概念

圖的複雜度、完整度加以比較相關的內容。

（二）解釋類型分析

依文獻探討所定義的「解釋」為分析單位，文字敘述中亦有許多不屬於解釋自然現象的內容。這些內容中有的很明顯不屬於「解釋」，例如：科學家生平的介紹、科學發現的史實；有的則容易混淆，例如：名詞的定義或所謂的解釋名詞，據 Horwood（1988）的界定，解釋名詞不能算是個「解釋」，只能算是描述，因為沒有和因果鏈做出連結（見第二章文獻探討）。所以名詞的定義，無論是自然實體或概念實體，都不算是解釋，也不在本分析的討論範圍。

本分析所探討的解釋主要有兩大類，促進理解的教學用解釋，以及實際描述成因的科學解釋。內容中有關「自然現象起因」的文字描述，也就是描述「自然現象為何會這樣的發生」或是「為何有這些自然現象」，都會納入解釋的探討。但根據前導研究發現，這至少有兩種形式，一是兩個句子簡單的因果連結，例如：「長頸鹿脖子為何如此的長（待解釋項）？，因為它們要吃到樹上的樹葉（解釋項）」另一種是以一大篇幅來說明一個現象，例如：待解釋項：「光合作用如何進行？」解釋項為：「植物葉綠體吸收光能，、、、光反應如何如何、、、暗反應如何如何、、、」，這種解釋寫法衍生一個問題是：要如何界定出課文內容中何處為一個解釋的段落呢？本研究將採用 Unworth（2001，見文獻探討）的區分，即探討方向（orientation）與結尾（closure）為上下界線的三明治結構。

因此，所謂解釋類型分析的標的是，五大主題文字敘述中的兩種解釋寫法，一是簡單的句子因果連結，一是較大篇幅由探討方向至結尾的解釋段落。這兩個被分析單位，將分別被歸類至文獻探討中所指的各種解釋類型，例如：，前段提及「長頸鹿脖子為何如此的長？因為它們要吃到樹上的樹葉」的例子，這個解釋單位中，由於是用脖子長的好處（可吃到樹上葉子），來說明脖子之所以長，因此將被歸類在功能性解釋」這些可能的解釋類型及其特性整理至表 3-6-1，本研究所定義的各解釋類型及其特性定義，均來自第二章文獻探討的結果，主要參考 Dagher & Cossman（1992）和 Salmon（1998）著作中所討論的內容。

各版本教科書的解釋段落，都會分別歸類成各種解釋類型，接著會對不同年齡階段教材所擁有的各類解釋類型數量加以統計，進行質化與量化分析。解釋類型又可分成兩大類：科學解釋與非科學解釋，依 Salmon（1998）的分法，功能性、機制性、通則性屬科學解釋。其餘的解釋類型雖被劃分至非科學解釋，但未必是錯誤的解釋，例如：擬人化或類比等，甚至可以幫助接受解釋者理解自然現象或其起因。

表 3-6-1 各版本演化相關教材的解釋類型分類

解釋類型	類別	特性（判斷依據）
虛無的 tautological	非科學解釋	把問題重新架構敘述出來，並未添加任何新的資訊。

形上學 metaphysical	非科學解釋	把現象的起因，訴諸於超自然作用體。
擬人化 Anthropo -morphic	非科學解釋	把人類的特性套用在非人類的作用體上。
類比 Analogical	非科學解釋	以學生熟悉之情境，來解釋要被解釋的現象。 假定類比的情境和真實的現象之間，存在著符 應關係。
實證的(例證) empirical	非科學解釋	提供證據或保證來支持一特定宣告，以迫使他 人接受此一宣告。
功能性 functional	科學解釋	以某一現象、事件、結構的存在，造成的利益、 優勢，來說明該事象、結構，得以存在的理由。
通則性 universal	科學解釋	這是用一套通則定律來解釋事件，不需涉及因 果傳遞
機制性 mechanic	科學解釋	以某一現象、事件、結構的存在和活動，解釋 另一事象、結構的存在和活動。

（三）複雜系統特性分析

本分析面相，將引用（一）內容分析所得的資料，並將之與文獻探討中所整理出的複雜系統特性，如表 3-6-2，作一比對，分析的單位參考（二）解釋類型分析，所指出的句子和段落兩種可能型態。並統計各版本各年齡階段教科書五大主題教材內容所擁有的複雜系統特性的數量，並加以比較分析。

表 3-6-2 可能在教材出現的複雜系統特性分類

類別	特性（分類依據）
多層次	即是以至少兩個層次的角度去考量一個現象，例如：現象和造成現象的組成分子之間便至少有兩個層次。
突現，不可預測、不可化約	現象無法由低層次的成分行為所推論出來；高層次的事物整體所具有，而其組成成分所不具有，且事先不能由此加以預測的特性。
多因子互動	系統的行為，受到諸多因子的影響，且其互動比分子個別行為重要。
動態的，不停止的	因子的互動不會終止
下向因果關係	指的是高層次具有低層次所不具有的性質，並對其組成部分（低層）有支配作用

無中央控制	在系統當中，並沒有主導者來影響整個系統的主要行為。
自我組織	成分會自動組織成一個體系，如勞力需求、商品、服務自動組織成市場結構，而這個體系的存在強化了每一成分的連結和存續。
正回饋或報酬遞增	使得初始狀況的小變動，可以導致之後系統的巨大改變
適應性	所有的組織型態都要經過環境的挑選，才可能存在。

二、紙筆測驗量的分析

（一）分數計算

測驗題基本上是選擇題，每一題的四個選項，已分類成三個不同類別：拉馬克目的論、單因子選擇、複雜系統觀（表 3-3-2）。但有 10 題（2，4，6，7，10，11，12，13，16，17）有著開放性選項，但受測者選擇這個選項，必須加以文字說明理由。故筆者收到紙筆測驗資料後，除了計算無開放選項題目的分數外，必須另行檢查學生在這 10 題是否選取開放性選項，並審視學生針對該開放性選項的說明為何，以學生的說明為準，將其開放性選項歸類到前述三個類別（歸類方法及範例見下段。接著統計每個學生在這 18 個選擇題的回答情形，看其 18 個選項（每題一個選項）分別列屬於何類別，統計每一類別的選項數有多少。如果學生選擇了開放性選項，卻未加以文字說明，則會被列在「其他」一類。依此原則，

可以得到表 3-6-3 的範例。每一班級（教學操作組）前後測的類別數量變動，跨年級的類別數量差異，都會被拿來以統計軟體加以分析。

表 3-6-3 紙筆測驗結果統計的範例

	錯誤答案	正確答案		無法歸類
	拉馬克目的論	單因子選擇	多因子（複雜系統觀）	其他
學生甲	5	3	10	0
學生乙	12	3	1	2

（二）開放式選項的歸類

參考表 3-3-2，本研究所設計的測驗題，為了減少猜答案等試題效應，也為了更能收集到學生的真正想法，因此設計了開放性的選項，學生在選擇此一選項時，必須以文字敘述出理由。評分者根據其理由，再加以重新分類。具有開放選項的選擇題共十題（全部十八題），可分兩大類，A 類：第二、四、六、十、十六題等五題，A 類的非開放選項中已有正確答案；B 類：第七、十一、十二、十三、十七題等五題，B 類的非開放選項並無最佳答案。A 類的正確答案雖已落在非開放選項，但選擇開放選項者，會先被列入「待決定」，再由評分者依受試者說明的理由，將之分別區分成「多因子」、「單因子」、「目的論」、及「無法判斷」四類。底下分別舉例說明，評分者的判斷方式。

國中部的回答，被分類於「無法判斷」者較多，主要原因應是，其尚未正式

學過演化，因此回答這些演化方面問題時，常答非所問。

1、 A 類

第 2 題：十數萬年前，地球上的哺乳類都比現在的同類大得多，例如猛瑪象、大樹懶。這些生物都已消失成為化石，現在只剩較小型者。你覺得最可能的原因是：選項：

（A） 因為環境曾有過大變動，導致體型越大者，越不容易生存。

（B） 因為食物不足，大型動物需要較多的食物，競爭比較激烈。

（C） 地球上的生物原本就有由大往小演化的趨勢，如同古代有大恐龍，現在只有小蜥蜴。

（D） 其他＿＿（開放選項）＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

本題的最正確的多因子答案設定為（A），亦即在「過現」題裡，影響生物演化的因素固然甚多，故常用「環境」一詞，統括所有的因子互動情形，因此只要提及「適應環境」便可判斷為最正確的多因子答案，也就是本題所設計的（A）選項。受試者在本題開放性選項中，所回答的理由若有「適應環境」一詞，便可算是正確。例如下例：

- 「當時較小的品種，較適應環境」（10828）
- 「因為環境及氣候的變化，但是演化也有由小變大」（10607）

- 「環境變化，不適應」(10635)

第 4 題：生活在暗無天日洞穴裡頭水潭的魚，為何眼睛退化？

（Ａ） 整體而言，眼睛退化者比有眼睛者，更適合在洞穴中生存。

（Ｂ） 魚本來有眼睛，進入水潭生活後，因眼睛無用，因此每隻魚的眼睛都漸漸變小，最後退化消失。

（Ｃ） 一群魚有的有眼睛，有的沒眼睛，當共同在洞穴中生存時，有眼睛者反而比較容易被掠食者吃掉，最後只剩下無眼者。

（Ｄ） 其他_____

本題的最正確的多因子答案為（Ａ），以「整體而言」來說明「過現」題型裡，統括說明演化受所有的因子互動影響的情形。就所收集到的受試者回答情形，可以發現有「單因子」及「目的論」兩種分類，例如下例：

單因子

- 潭裏是陰暗的，因此對視覺以外的感官較有力，也因這原因，有眼睛的魚因其他感官較差，因此被淘汰」(10821，單因子，因本個案說明中提及個體差異以及「陰暗」這項環境條件，因此歸類於「單因子」。)

目的論

- 「眼睛無使用因此退化」(10734)

- 「不常用所以退化」(10825)
- 「原本具有視覺,但進入水潭後無法看到,所以視覺逐漸退化。」(10837)
- 「不適應光線，漸漸眼睛無法接受光線，眼睛也就退化了」(10607)

分析：這些受試者的理由，都有共同傾向，亦即「未使用故退化」，因此歸類於拉馬克目的論。

第六題：北極熊的毛髮為何會是白的？請選擇最合適的答案。

（A） 只有白毛髮，才能讓熊在北極冰天雪地下生存。

（B） 北極熊本來都不是白色的，但為了適應北極的生活，因此每隻北極熊都漸漸演化成白色。

（C） 北極熊的祖先也曾經有不是白色的，不過都已經絕跡，現在只剩下白色品種。

（D） 其他_____

本題的最正確的多因子答案為（C）,（A）選項之所以非最佳答案，是僅考慮到白毛的優勢，因此有單因子想法,（B）選項為用進廢退的目的論觀念。（C）選項不討論影響的因子,以不否定「多因子」的觀念,若受試者單以「天氣寒冷」、「雪地白色」、或「方便獵食」為理由,都僅考慮到單一面相,歸類於「單因子」,如下例：

單因子

- 「最初北極熊的毛色有黑、有棕、有白，但白毛色的熊生存力較強，因此到了最後北極熊的毛色都是白色的」（10738）
- 「以前也有非白色的熊，但較容易被天敵發現而不適合生存，所以現在只剩下白色品種」（10802）
- 「因為雪是白的，北極熊的毛也是白的，當有敵人來時，較不易被發現」（10610）

目的論

- 「為了讓自己有保護色，容易掠食」（10802）
- 「為了能生存，而演化成和環境相同的保護色」（10833）

分析：10802 的說明裡有「為了」二字，因此歸類於「目的論」。回頭去看「單因子」的有一例：10618「為了適應北極生活，不是白色的被淘汰掉」，其被歸類為單因子是因，提及個別差異（白色與不是白色），且有「選擇」觀念（不是白色的被淘汰掉）。

無法判斷

- 「北極熊的毛是偏灰色的，因光（雪照射）的關係，看起來是白色」（10808）
- 「北極熊的毛成透明，因為光線所以看起來是白色的」（10608）

分析：這些受試者的理由，都屬物理的解釋，或是未涉及演化的改變，因此

無法判斷其演化的想法屬於「目的論」、「單因子」、「多因子」中的哪一類。

第 10 題：一個正港台灣女性因為從小在非洲長大，膚色曬的較黑，後來她嫁給一位有類似身世的非洲台灣僑胞，之後生了小孩，他們的小孩出生時的皮膚顏色，應該會是？

（A） 在陽光充沛的非洲，黑皮膚可避免紫外線傷害，為了適應環境，以得到生存優勢，所以出生時皮膚顏色便會比父母還黑一點。

（B） 父母的膚色都已經變黑，小孩出生時體色也會變比較黑。

（C） 出生時皮膚顏色和一般的台灣嬰兒差不多，明顯比一般的非洲小孩白。

（D） 其他_____

本題目的設計，主要在區別是否具有「先天性狀才可遺傳，後天性狀不可遺傳的觀念」，若有「後天性狀可遺傳」的想法，則可歸類於「目的論」，如本題的（A）、（B）選項。本題目並無法區分出「單因子」、「多因子」的想法，因此只要有「後天性狀不可遺傳」觀念，即列為正確（多因子）想法。如下例：

多因子

- 「D 要看基因的配對」（10734）
- 「不一定，有可能正常，有可能白化症，也有可能突變而較黑」（108post38）

無法判斷

- 「不一定，因為是曬黑，並非是天生（父母）」（71029）

第十六題：把一群斑馬關在人類所建造的動物園裡，經過數十萬年之後，人類和動物園的設施都還維持原貌，而當時那群斑馬的後代，最有可能？

（A） 已經演化成人類可騎乘的野馬。

（B） 還是維持原來的斑馬樣子。

（C） 已經演化成其他種生物。

（D） 其他_____

本題雖然是「現遠未」的題型，但主要影響動物園斑馬演化的因子「人類、動物園」都已被控制住，因此維持原來斑馬樣子，方為最正確的多因子答案。改變、或絕種都算是未考量足夠的互動，屬於「單因子」想法。如下例

多因子（斑馬不會變）

- 「大致上還是維持斑馬的外貌，但卻無斑馬的能力」（10819）
- 「氣候環境沒變的話，應該是不會變的，因為不需要變」（10836）
- 「因素太多、無法確定」（108post26）

單因子（斑馬改變或絕種）

- 「變成會了解人類的部分行為」（10717）

- 「變成只會吃飼料，而不奔跑的斑馬」(10823)
- 「絕種，沒人餵食」(10827)

2、 B 類

第 7 題：哆啦 A 夢（小叮噹）漫畫曾有個故事指出，二十三世紀的人類會變成頭大而手腳小。您覺得呢？

（A） 對的，因為有著各種機器的協助，人們不需再做費力的工作，手腳因此萎縮；思考的工作較多，腦袋因此發達。

（B） 對的，原因＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（C） 不對的。因為許多人類都熱愛運動，所以可能出現頭大手腳也大，且這些人比頭大手腳小者更有競爭力，更適合生存。

（D） 不對的，原因＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

本題屬「現未」題型，在兩百年的時間，人類應不會有太大的演化，但兩百年的時間可以發生的天災人禍有許多，因此二十三世紀的世界可以是難以預測的，在 (D) 選項中所填寫的理由，若是提及「不可預測」或「演化時間過短」，可屬「多因子」想法，如下例。

多因子

- 「人類不一定會演化成頭大手腳小，未來的是不能預測」(10722)

- 「D 不一定會成為如此，未來可能無限大」(10807)
- 「D 不管如何，後代的人類各部位大小，並不太可能改變，除非突變」(10821)
- 「D 頭大腳小不一定有利」(108post29)

單因子

- 「B 未來社會偏向知識性社會，聰明者存活較多」(10823)

分析： 10823 有單因子選擇的想法，判斷依據為「環境」: 知識性社會 ;「個體差異」: 聰明者 ;「選擇」: 存活較多。

目的論

- 我們可以推論到 23 世紀，人類因科技便利而少動，演化成頭大腳小，然而卻不能預測所有人都這樣，只能說大部分人，因為也可能有些人依然熱愛運動，所以難以判斷」(10836)
- 「每個人有的動作、作息不一定相同，也有人腦、四肢並用」(10718)
- 「有 AC 兩項綜合起來的人，可能身體比例正常」(10620)

分析：10836 和 10718 雖提及另種選擇因子，但因在機制層次上，仍附和人類會依生活型態而外表演化的說法，故仍屬用進廢退的思考。

第 11 題：水黽是一種能適應水域，而在水面棲息的昆蟲。現在捕捉一些水黽，細心在飼養箱內照顧，但除了少許的飲用水之外，並不給予水黽多餘的水，所以水黽等於是在陸生環境中生存。如此經過十多年，若把當年那些水黽的後代

放到水面，此時這些水黽：

（A） 失去漂浮於水面的能力。原因：為適應飼養箱的陸生環境，因此失去漂浮能力。

（B） 依舊具有漂浮能力。原因：迅速重新演化出漂浮能力。

（C） 失去漂浮於水面的能力。原因： 在陸生環境培養時，某些不會漂浮的水黽後代出生了，而它們比起會漂浮者更易生存，最後所有水黽族群都失去了漂浮能力。

（D） 依舊具有漂浮能力。原因：_____

討論：本題亦屬「現未」考題，在十多年的時間當中，可以預期雖然水黽歷經不同環境，但不至於發生過大的演化，尤其是喪失漂浮能力的機率甚低，因此理由屬於這類的列為最正確的多因子答案，意即「多因子」想法。如下例

多因子

- 「基因不會輕易改變」(10712)
- 「這能力是天生的，而非後天技能」(10821)
- 「演化不是十多年可完成的」(10830)
- 「體內基因不因後天改變而改變」(10637)

第 12 題：地球的臭氧層破洞使得紫外線不斷照射到地球表面來，這些紫外線有害於生物，尤其是青蛙等兩生類。如果情況持續下去，你預期青蛙十萬年後

最有可能會如何？

（A） 不管環境怎麼變，都會突變成可適應環境的其他生物。

（B） 絕種。原因＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（C） 繼續存活。原因＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（D） 其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

本題選項設計成，選擇（B）、（C）者，有可能落在「單因子」想法，選擇（D）者，可能落在「多因子」想法。不過仍要視其理由來決定。例如 10709，10723，10738 等三人的理由，顯是有多種可能的存在，被歸類為「多因子」。而 10815「可能產生突變的後代生存」的理由，由於只有單一考量，故歸類於「單因子」。和 10815 相似的 10831：「突變出可以生長在紫外線照射下的物種」被歸類於「目的論」，是因其未加上「可能」兩字，有定向演化的想法，故作此歸類。

多因子

- 「D 未來十萬年，環境變數太多無法預測，所以可能絕種，也可能存活」（10709）
- 「失去最基本的生活環境，且突變生物不一定能適應環境」（10738）

單因子

- 「C 演化出擋紫外線的外皮」（10722）
- 「B 使基因突變便死亡」（10802）

- 「C 會剩下能適應紫外線的兩生類，再演化成適應這種環境的生物」（10807）
- 「D 可能產生突變的後代生存」（10815）

目的論

- 「C 發展成更能對抗紫外線的能力」（10805）
- 「C 紫外線是慢慢增加的，有足夠的時間適應」（10836）
- 「D 突變出可以生長在紫外線照射下的物種」（10831）

第 13 題：木柵動物園裡飼養著一群黑猩猩，但地球全人類突因戰爭滅絕，因此這群黑猩猩自生自滅，經過數十萬年之後，你覺得當時那群黑猩猩的後代會變得如何？

（A） 已經演化成人類。

（B） 還是維持原來的黑猩猩樣子。

（C） 已經演化成非人類的其他種生物。

（D）其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

本題屬「現遠未」類型，由於數十萬年有太多的可能性，所以應該有多種可能性，例如 10738，的答案可列為「多因子」。而 10734 有著選擇的觀念，故列為「單因子」。10836，10831 兩者的答案因為加上了「可能」二字，所以列為單

因子，否則會被列為有定向演化、因應環境而變化的「目的論」想法。

多因子

- 「要看當時的環境決定」(10738)

單因子

- 「滅亡，因為它們以前被飼養而失去了自己生存的能力」(10734)
- 「不會衍生其他生物，但可能因少了人類的餵食，必須自行覓食，而有器官上的變化」(10836)
- 「如果環境有變化，可能會演化成其他種生物」(10831)

目的論

- 「演化成人類」(10630)

第 16 題：馬的祖先是一種體型比狗還小的始祖馬，根據化石記錄，馬的體型有變大的趨勢。今日的馬受到人類育種的影響，而有體型大小不一的情況。假如明天人類突然絕滅，馬都成為野生馬，請問一百年後，你預估馬會：

（A） 絕種。原因：缺乏人類照料

（B） 體型比現在的馬大。原因： 少了人類的干預，回復到以往的演化趨勢。

（C） 體型比現在的馬小。原因：少了人類的餵食，體型小的馬因為需要食物較少，比起體型大的馬有較佳的生存優勢。

（D） 無法確定。原因：_____

討論：

大致而言，受試者在本題目若選取最正確的多因子答案的（D）選項，其給的理由也會是「多因子」想法。如下例。

多因子

- 「環境的變遷，無法確定，適合體型小的，就會成體型比現在馬小，適合體型大的馬，就會成體型比現在的馬大」（10716）
- 「馬的體型是為環境而改變，假使有足夠的糧食或是沒有人類的保護下，兩者的結果不同」（10718）
- 「我們不知道到時地球會是什麼樣子」（10738）
- 「演化過程受到干擾，不確定是否能如預期演化」（10811）
- 「未來地球環境可能改變，故無法預測」（10821）
- 「看地球環境的變化和天擇」（10635）

三、晤談分析

晤談所得之逐字稿，首先將進行演化概念層級，接著再將每一份晤談結果的概念層級，轉換成模式表徵，轉化的目的在於更易於解讀每一位學生所屬的概念模式，最後再以這種概念模式的改變，來比較那些接受晤談的學生，在前後測間所發生概念改變。底下首先介紹本研究定義的概念層級，接著介紹各種可能的概

念模式，最後討論概念模式可能的改變。

（一）概念層級

所謂概念層級乃依據文獻探討中所得學生可能有之迷思概念、天擇說的原理、複雜系統的原理、以及前導研究所得的一些結果整理而成，包括完整性及正確性。筆者將「演化」概念的完整性，分成三個層級：

層級一：生物會不會在跨世代間發生改變。

層級二：生物改變的方向

層級三：改變的機制

其中第三層級演化的機制，談的是生物如何發生演化，又可分成：同一代的個別差異、個別差異產生之因、突變的發生方向、遺傳、選擇、演化單位等細部層級，如表 3-6-5。學生若能提到三個層級，且都能提到第三個層級的各細部層級，則表其概念完整性高。至於正確性如何定義，將詳述如下

第一層級：生物會不會在跨世代間發生改變，指的是學生能不能意識到生物演化的發生，這暗示著兩種可能：學生有沒有意識到演化現象以及學生有無創造論的心智模式。有兩種可能的答案：不變（編碼為 0）、會變（編碼為 1），當然後者正確性較高，如表 3-6-4。另外，這邊的改變定義成跨世代，亦即單一個體本身的改變，例如：曬到陽光，皮膚變黑，並不屬於本一層次的分類。

在這個層級中，筆者認定各選項（編碼）具有排他性，且以後者優先。若是學生所有訪談內容中，部分出現了生物會隨時間演變的概念，即該學生在此一概念層級屬編碼：一 – 1。

表 3-6-4 完整性第一層級正確性編碼

層級一	編碼	一 - 0	一 - 1
概念屬性		生物個體性狀不隨時間改變	生物個體性狀會隨時間改變

第二層級：生物改變的方向，需建立在編碼一 – 1：生物會改變的基礎上，亦即當能意識到生物會改變時，我們可以去偵測學生會認為生物往何處去改變。筆者在此建立了三個不同尺度的正確性，如表 3-6-5。編碼二 – 0，為宿命論看法，亦即雖然有演化發生，但這是按照某種外部既定的程序、日程規律出現，不是因為環境的改變而改變。編碼二 – 1，指生物會依據環境需求而朝特定功能需求地定向改變。編碼二 – 2，則加入複雜系統不可預測的特性，即雖然生物會依據環境需求而變，但這種改變並非定向，而是可能不定向。筆者同樣定義越往右欄，其正確性越高。

在第二層級中，筆者認定各選項（編碼）具有排他性，且以後者優先。若是學生所有訪談內容中，只要部分內容出現了生物的演變方向會依環境需求，但也

可能不定向時（了解到有多種演化的可能性，例如滅種時），即該學生在此一概念層級不屬編碼：二 – 1，而屬編碼：二 - 2。

表 3-6-5 完整性第二層級正確性編碼

編碼	二 - 0	二 - 1	二 - 2
層級二			
類別	依既定的宿命而改變 定向改變	依功能需求而因應環境改變。 定向改變	依功能需求而因應環境改變 + 難以預測如何變 定向或不定向改變

第三層級演化的機制 (表 3-6-6), 需建立在前兩個層級之上 , 即學生需先能意識到生物會演變 , 且演變有方向之後 , 才可能進行此一層級概念存無的偵測。第二層級 , 除了宿命論 (二 - 0) 之外 , 其他兩個都可以討論生物體內部發生何種改變。同樣的可以有編碼三 – 0 : 完全說不出來 ; 編碼三 – 1 : 環境刺激論 , 認為個體會受環境刺激而直接變化 ; 編碼三 – 2 : 拉馬克的用進廢退 ; 編碼三 – 3 : 混合型 , 亦即同時具有拉馬克、環境刺激及一部分天擇說的想法 ; 編碼三 – 4 : 單因子天擇 , 及簡化的達爾文天擇觀 ; 編碼三 – 5 : 複雜系統。正確性由左至右漸高 , 由於在前導研究發現 , 很少學生能完整地說出所有天擇說的各要件 , 所以此一層級在縱向上另訂出 (1) 個別差異、(2) 個別差異產生之因、(3) 隨機突變、(4) 先天性狀才可遺傳、(5) 族群遺傳、(6) 多因子選擇等六個細部要件 , 若學生能正確提到這六個細部要件 , 則完整度最高 , 可編碼至三 – 5。若能提及 (1) - (5) 等 5 個細部要件 , 但未提及 (6), 則屬編碼三 – 4。若未提及或擁有

錯誤的細部要件觀念（如突變朝特定方向發生）則表概念完整度不足，會被歸類到不完整的三 – 4。三 – 4 與三 – 3 最大的差異是，後者仍有用進廢退或環境刺激論的概念，而前者則無。

表 3-6-6 第三層級正確性和完整性細部層級編碼

正確程度（機制名稱） 細部要件		0 完全不知	1 環境刺激	2 用進廢退	3 混合型	4 單因子天擇	5 複雜系統
非科學解釋	受環境刺激而個體直接變化（例如：：因為冷使得毛囊逐漸長出長毛）	？	O	X	其中一個為 O	X	X
	使用而發展，不用就退化	？	X	O		X	X
演化機制的科	（1）同一代個別差異（有或無）	？	無	無	有或無	有	有
	（2）個別差異產生之因	？	？	？	突變或？	突變或有性生殖	突變或有性生殖
	（3）突變的發生	？	？	？	特定方	隨機	隨機

學		-特定方向			向		
解		-隨機					
釋	(4)	遺傳	?	所	所	所有	先天	先天
諸		-所有性狀皆可遺		有	有			
要		傳						
件		-先天性狀可遺傳						
	(5)	演化的單位	?	個	個	個體	族群	族群
		-個體		體	體			
		-族群						
	(6)	選擇	?	無	無	單或無	單	多
		-單因子						
		-多因子						

(三) 概念模式

為了能更清楚表達學生所具有的概念為何，以及教學前後的改變，筆者將晤談逐字稿編碼後的資料，轉換成新的圖形表徵，稱之為概念模式，如表 3-6-7 的範例所示。這種概念模式可以表達出完整性和正確性，茲以表 3-6-7 來說明，本表徵的製作方式。

1、原則一：每一層級以不同粗細的線條表示，第一層級最粗，依序類推。

2、原則二：每一層級越正確的編碼，其線條越直立。

說明：例如：A 與 B 兩種模式，前者只有第一層級，且為錯誤，所以線條平躺，後者在第一層級是正確的，所以線條直立，但第二、第三層級（線條漸細）為錯誤，所以線條平躺。

3、原則三：如果有數種不同的正確程度，則會製成不同斜率的線條，正確的為直立，部分正確的則有一定傾斜。

說明：以第二層次來說，編碼二 – 2 直立，編碼二 - 0 平躺，中間還有一個層級，：二 – 1 呈 45 度角繪之。如 B、C、I 三種模式在第二層級的比較。

4、原則四：第三層級由於有許多次層級，此部分用披薩形狀代表，正確的（例如：知道個體有差異）以實心代表，錯誤的（即非科學的）以空心代表。

說明：例如：模式代號 F，能回答出部分正確的次層級，故第三層級繪製成間隔實心狀。

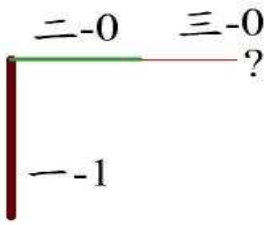
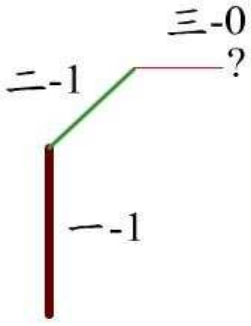
5、原則五：在第三層級的「選擇」次層級中，單因子並不算錯誤，因此也繪製成實心。但有「單因子選擇」想法者，會被歸類於三-4，而非最正確的三-5。

說明：如此就如模式代號 H 的圖形，即知道生物會變、因應功能需求無意識改變，且能完整說出達爾文天擇說的六個核心，但因為只從單因子角度去考量

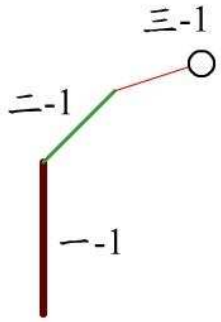
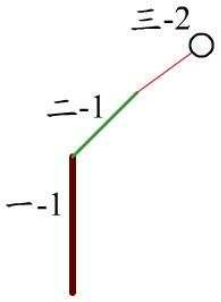
「選擇」，無突現及不可預測的想法，故在第二和第三層級都有些傾斜。

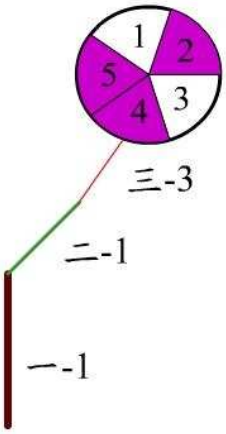
6、原則六：依前述五個原則，概念模式正確性、完整性越高，其圖形將越直立，且會有一個完整的大圓形位於其上，如模式代號 I。

表 3-6-7 演化論概念模式圖

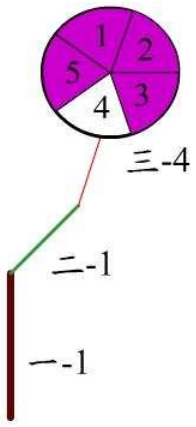
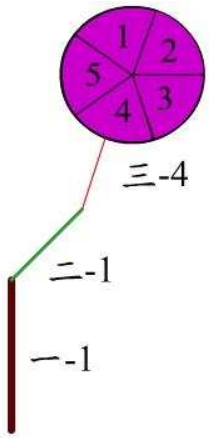
代號　模式圖形表徵	屬性（概念層級）
A  	只具有一 – 0，亦即生物不會改變
B  	具一 – 1，二 – 0，三 – 0 即知道生物會變，改變方向依據宿命，但不知道改變的機制。
C  	具一 – 1，二 – 1，三 – 0 即知道生物會變，改變方向是因應環境需求而朝特定方向改變，但不知道改變的機制。

續表 3-6-7

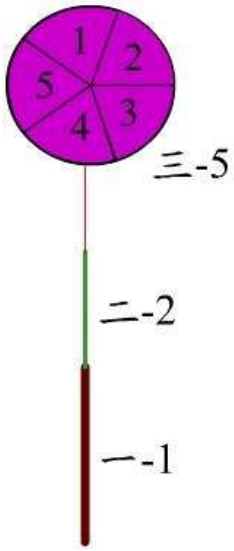
D		具一 −1, 二 −1, 三 −1 即知道生物會變, 改變方向是依功能需求而因應環境改變, 改變的機制是受到環境刺激而身體自發改變。
E		具一 −1, 二 −1, 三 −2 即知道生物會變, 改變方向是依功能需求而因應環境改變, 改變的機制是身體構造的使用或不用。

F		具一 – 1 , 二 – 1 , 三 – 3 即知道生物會變 , 改變方向是依功能需求而因應環境改變 , 有用進廢退或環境刺激的演化機制想法 , 但能提及部分達爾文天擇說要點。 本例中的模式 , 指缺乏三-4-1 , 三-4-3 兩個天擇要件概念。

續表 3-6-7

G		具一–1，二–1，三–4 即知道生物會變，改變方向是依功能需求而因應環境改變，且能說出達爾文天擇說機制，但不完整。圓圈內的實心部分，表示已有的演化機制要件想法，空心部分，表示缺乏的機制要件（三-4-4）
H		具一–1，二–2，三–4 即知道生物會變，改變方向是依功能需求而因應環境改變，且能完整說出達爾文天擇說機制，但僅以單因子考量「選擇」。

I



最正確的模式，具一–1，二–2，三–5。即知道生物會變，改變方向是依功能需求而因應環境改變，也可能難以預測方向，因為演化的機制裏所謂的「天擇」，其實是許多因子的作用。

第肆章　結果分析與討論

本研究主旨在於以「解釋本質」的角度，分別探討演化論的現行教科書文本、建議的改良版本成效、學生的演化論概念。在演化論現行教科書文本的探討中，對教科書進行了三類分析：一是不同版本對演化機制說明的異同；二是以筆者定義的解釋類型，分析各版本演化專章敘述的不同；三是檢驗各版本教科書的演化專章內容敘述中，是否含有複雜系統觀的特性。在建議改良版本的成效中，筆者分別將「不同解釋類型」和「複雜系統特性」融入演化論教材中，進行教學後，再以前後測分數的變化和晤談分析檢驗各教材的成效。最後在學生演化論觀念上，筆者整合解釋類型衍伸的現象、層次觀念，將學生的演化論觀念超越以往只看機制而分成多種層次，並以晤談所得，分別以概念層級和模式圖呈現出學生對

演化論的不同認識。

如表 4-0-1 所整理，本章第一節主要針對於現行教科書演化論文本的分析，可用以回答第壹章第二節所揭櫫的研究問題一；第二節呈現學生在演化論測驗題前後測的變化、第四節呈現學生前後測晤談的變化、第五節呈現學生可能的進步歸因，這三節可用以回答研究問題四、五、六等有關本論文設計的改良教材的優劣評價。第二、四、五節的部分內容及第三節可用以回答研究問題二、三，學生演化論的概念程度。每一節中除了呈現分析的結果之外，也將針對結果進行討論。

表 4-0-1 本論文的研究問題、對象、方法、結果對照表

問題	研究對象	研究方法	研究結果
一	現有中學教科書演化部分	內容分析 解釋類型分析 複雜系統特性分析	第肆章第一節
二——三	國、高中學生教學前演化概念	晤談、演化概念模式分析	第肆章第三節
四	解釋類型組（E）教學前後的演化概念	測驗題結果 晤談、演化概念模式分析	第肆章 第二、四、五節
五	複雜系統組（C）教學前後的	測驗題結果	第肆章

	演化概念	晤談、演化概念模式分析	第二、四、五節
六	解釋類型與複雜系統共同融	測驗題結果	第肆章
	入組（EC）教學前後的演化	晤談、演化概念模式分析	第二、四、五節
	概念		

第一節　教科書對演化論的討論

本節旨在呈現現有教科書演化論文本的三項分析。本論文取樣的教科書為國中四個、高中三個版本的演化論專章，每一個演化論專章又分成好幾個主題，其中必有一主題討論「演化機制」。

首先將以概念圖呈現各版本對演化機制的文字說明內容，並做出各版本的比較。二是以解釋類型來分析各版本演化專章的文字敘述，並以量化資料作出各版本的比較，三是分析演化相關內容的文字敘述中，是否具有複雜系統特性分析，也以此比較各版本。

一、演化機制的內容分析

各版本的演化專章中，應該是受到課程綱要或課程標準的限制，都有大致的輪廓，國中版本都包括演化機制、演化證據（化石）、地球的演化史；高中版都包括演化機制、演化證據、人類的演化。不過「國教版」的編排方式異於本文所

討論的其他六版本，其演化專章中另有「生物的命名及分類」、「形形色色的生物」等地球現有物種的介紹，由於其他版本將這一部分的內容置於他章，為著公平起見，國教版所謂的演化專章，指的是該章「生物的演化與分類」中，「生物的演化」這一主題。

在演化專章中，演化機制自然是演化討論的核心，本小節將先分析各版本演化機制描述內容的異同。內容分析的程序是先以概念圖呈現出，各版本描述演化機制的輪廓，利用概念圖，可迅速掌握教科書編寫者，對於該主題描述的內容及詳細與清晰程度，包括涉及多少概念以及每個概念的連結情形，都可經由概念圖而大致展現。概念圖只是工具，本段內容分析的重點不在概念圖本身，而在各版本的內容。底下將分別依序針對國中、高中版本對於演化機制的描述，繪出概念圖，並在每一概念圖之後，對該版本演化機制描述的特點或優劣進行說明或評論。最後再整合比較七個版本的演化機制內容。

（一）國中各版本

1、 國漢版

國漢版對於演化機制的描述，置於國一下第 3 章第 2 節，標題為「演化的學說」，扣除補充資料如「知識延伸」、「科學家小傳」及圖片不談，正文共 5 段、35 行，約 700 字左右。該版對於演化機制的描述，可整理成如圖 4-1-1 的概念圖。

由圖 4-1-1 可看出，該版在討論演化機制時，是以天擇說為主軸，另加上人擇一概念。該版並未在正文中提及另兩種另有概念：創造說、拉馬克的用進廢退說。雖然在視做課後補充的衍伸教材中有提到拉馬克及用進廢退說，但由於此屬於彈性教材，並非正式學習的材料，故不列入概念圖內。該版在討論天擇時，主要從兩個角度著手，一是個體間的差異，造成適應力不同；一是繁殖數目大於存活數目。之後將兩者匯整成競爭及競爭後的結果：「適者生存」，最後提及經數代之後，性狀發生變化，以及現今生物來自天擇後適應生存的個體。

但該版所引用來說明天擇的例子：「鷺鳥嘴型的演化」，並未依照該版描述天擇說所用的機制性解釋詳細說明，反而使用：「因各島環境差異，所以演化出適合攝取不同食物的嘴型，以獲取更佳生存機會」的功能性解釋。筆者認為這有可能造成學生混淆兩種解釋類型，導致學生以「為什麼要」的答案回答「為什麼會」的問題，不過，這需要進一步的研究才能確定。

該版直接將遺傳學理論的基因突變和染色體重組，整合到達爾文天擇說的要點之一：性狀差異，並未提及這是現代生物學對達爾文的修正，這或許會造成學生對科學史發展的誤解，誤以為達爾文時代已有充分的遺傳學知識，但本研究並未對此可能有何實證證據，純為筆者的推論。

該版提到「人擇」，但未與天擇機制做機制性解釋的類比，天擇與人擇有共同點：性狀差異及被選擇。也就是說：在機制層面上，雙方具有某些結構相似性。

但兩者有本質上很大的不同，人擇具目的論傾向，例如該版以：「人類的需要，使人擇存在」來說明人擇這個實體，這種說法有目的傾向，雖符合「人擇」的解釋本體，但「天擇」卻無因「環境的需要，使天擇存在」的目的傾向。因此筆者認為在天擇下談到人擇，有其意義，例如達爾文在物種原始一書上，也談到大量的人擇案例（孫克勤譯，1989；葉篤莊 *et al.*，1998）。不過若未從目的論角度，提出兩者的不同，或許反而使學生產生另有概念。另外文中提到：「人擇會破壞大自然的演化法則」，依科學哲學觀點，法則屬邏輯規則，而邏輯無法被破壞（林正弘，1991；舒煒光 & 邱仁宗，1998）。筆者認為本句的敘述可能有待修飾之處，或許應改為「人擇會干擾大自然原本的演化（路徑或方向）」。

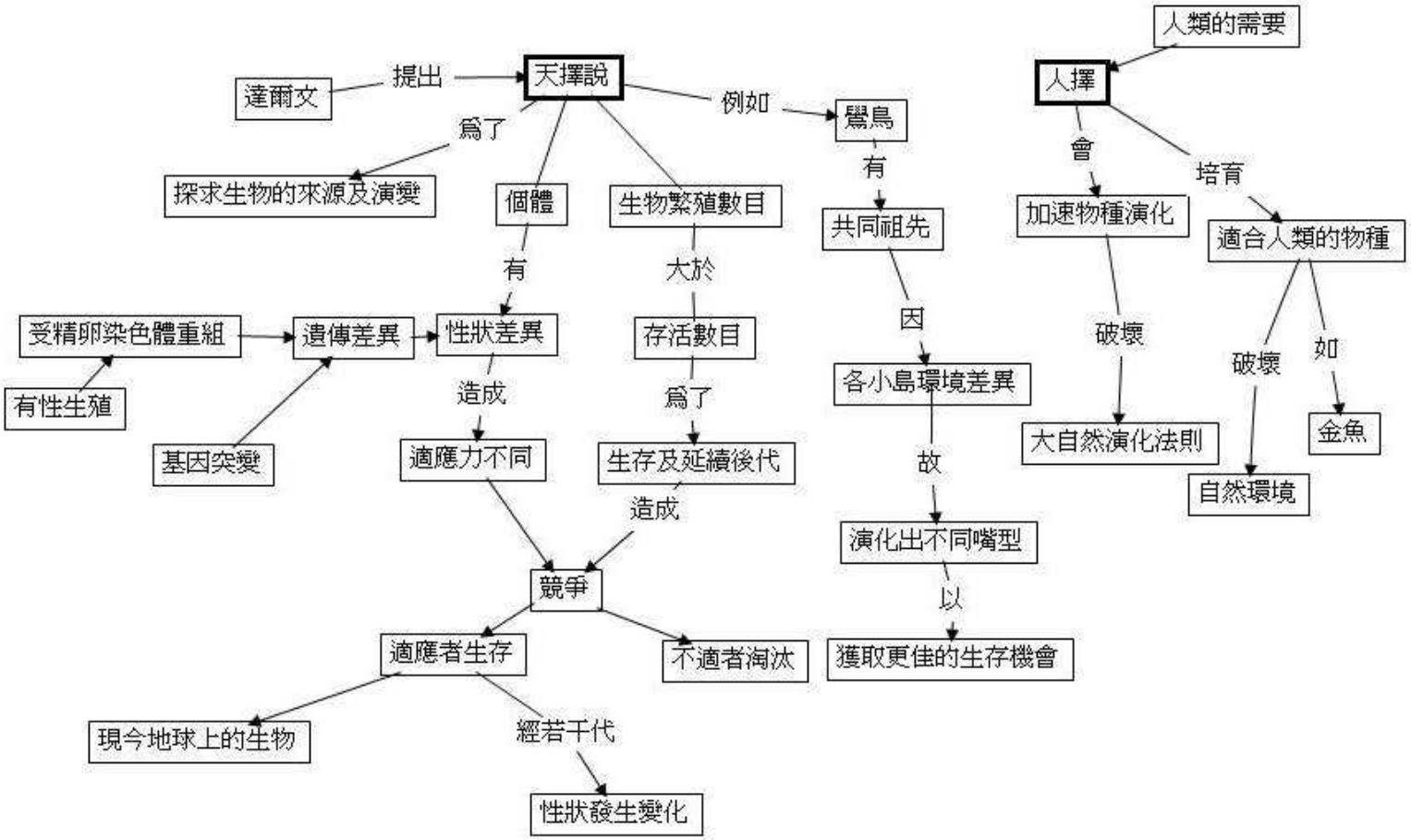


圖4-1-1 筆者針對國漢版演化機制的正文，所做出的概念圖

2、 國楠版

國楠版對於演化機制的描述，置於國一下第 3 章第 2 節，標題為「生物怎樣發生演化」，扣除補充資料如「小檔案」、「歷史櫥窗」及圖片不談，正文共 7 段、43 行，約 970 字左右，比國漢版稍微豐富。該版對於演化機制的描述，可整理成如圖 4-1-2 的概念圖。

由圖 4-1-2 可知，相較於國漢版，國楠版在演化機制的討論，涉及到演化概念發展的科學史，該版內容中共提了四種演化機制：創造論、拉馬克（用進廢退說）、達爾文（天擇說）、現代綜合論（修正的天擇說）。並將這四種機制的差異做出比較，如創造論認為物種不會變；拉馬克則認為物種會隨環境而變、變化動力為體內一股力量；而達爾文認為變化動力來自個體差異、數量過多又資源不足造成競爭，之後某些種類個體比例增加，代代相傳造成新種；現代綜合論則將遺傳學和機率等觀念帶入天擇，並修正生存競爭的重點。

該版在討論天擇時，主要從三個角度著手，一是個體間的差異；一是繁殖數目大於存活數目；三是資源不足。之後將三者匯整成競爭及競爭後的結果：「適應者生存機會大」，最後提及經數代之後，有適應性狀的個體比率增加，代代遺傳的結果，甚至造成新種。。

該版在文字內容中，只有在用進廢退說裏以長頸鹿為例，在天擇說的文字內容上並無範例。但該版在附圖中，呈現了長頸鹿的生存競爭之天擇說演化機制例

子。換言之，一樣是演化機制的長頸鹿例子，一個用文字說明，一個則用圖片說明，兩種機制並無直接對比。

另外該版在修正天擇說的所謂「現代綜合論」中，引入機率等可被筆者視為複雜系統特性的概念，算是國中版本分析的教科書演化機制概念中，唯一具有複雜系統概念者。

和國漢版比較起來，國楠版在演化論機制的編寫上，概念間的連接較佳，沒有與其他概念缺乏連接的零碎概念，且全文無混淆機制性與功能性解釋，也無介紹可能造成目的論混淆的「人擇」概念，同時也提到了當今較為完整的演化理論，在這幾個角度的比較上，該版本似乎較國漢版為佳。

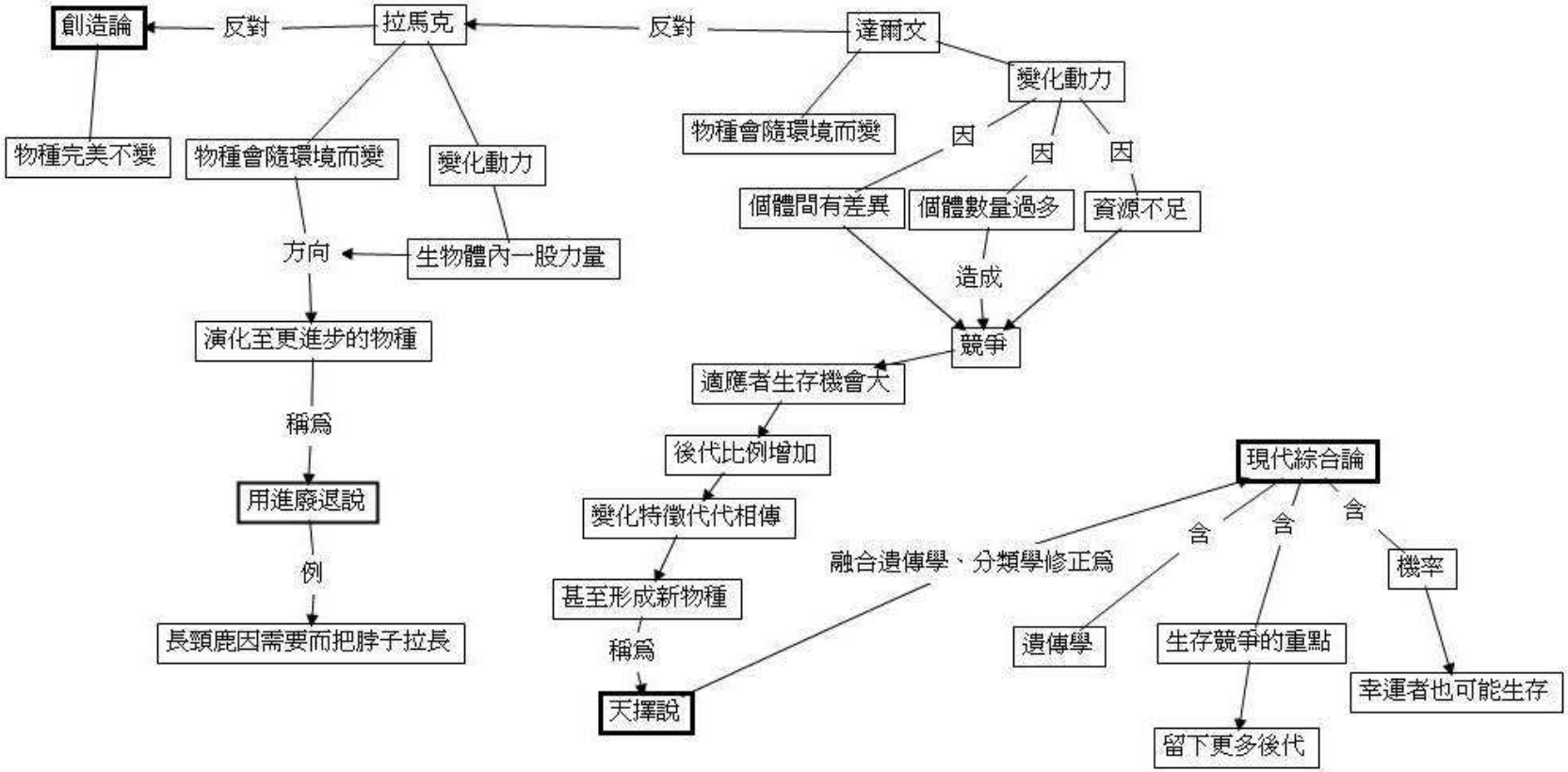


圖4-1-2 筆者針對國楠版演化機制的正文，所做出的概念圖

3、 國教版

國教版對於演化機制的描述，置於國一下第 9 章第 2 節，標題為「生物演化的理論」，扣除補充資料如「更上一層樓」、「動動腦」及圖片不談，正文共 4 段、26 行，約 620 字左右。該版對於演化機制的描述，可整理成如圖 4-1-3 的概念圖。

由圖 4-1-3 可知，相較於國漢版和國楠版，該版在演化機制的討論介於兩者中間，只描述了兩種演化機制：拉馬克（用進廢退說）和達爾文（天擇說），並未提到創造論。該版在討論天擇時，主要從兩個角度著手，一是個體性狀差異，造成適應力不同；一是後代數量大於環境負荷量。之後將兩者匯整成競爭及競爭後的結果：「適應環境者生存且繁殖」、「不適者淘汰」，因此造成生物演變。

該版並未從遺傳學角度提到個體性狀差異，也只提到需要一個比天擇說更好的修訂理論或新理論來說明演化現象，但不像國楠版以所謂的「現代綜合論」來說明現有的天擇說有何缺點，或需補充哪些要點。這十分「忠實」於達爾文天擇說這個機制，閱讀該版本，應該不會造成對達爾文當時生物學知識的誤解。

文中以研究成果的不支持，來說明用進廢退說的沒落，但未舉例，也未從遺傳學的理論加以說明。不過該版以整頁圖片，來比較用進廢退和天擇說的差異(以長頸鹿之長頸演化為例)

以正文的字數、行數等為衡量基準，相較於另兩個國中版本，這一版本在介紹演化機制時，所使用的篇幅最少。不過藉由集中焦點和圖片的協助，該版在比

較用進廢退說和天擇說上，顯得比另兩個版本清晰得多。但國教版不像前面討論的兩版本：國漢版直接把遺傳學定律用在天擇說上，而未明顯區隔；國楠版則以「現代綜合論」將遺傳納入（不過無詳細說明），兩版本在演化機制議題上都與遺傳學有連結，而國教版則完全未把演化機制和遺傳做出相關。筆者認為雖然這樣可使學生不會對達爾文當時的遺傳學知識有所誤解，但也可能使學生缺乏對天擇理論更深一層理解的機會，當然，同樣的，這屬於筆者本人的推論，有待進一步實證研究。

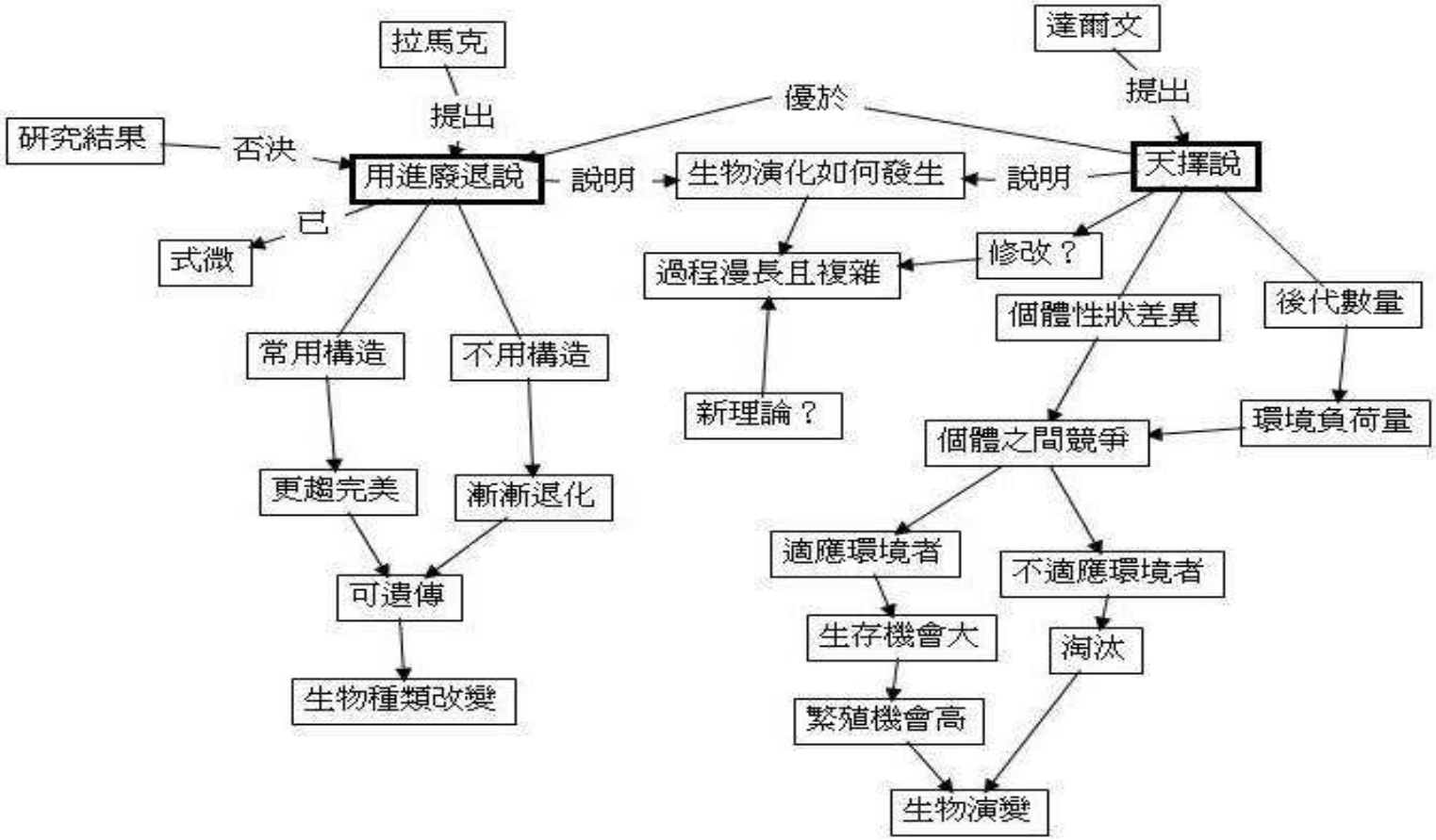


圖4-1-3 筆者針對國教版演化機制的正文，所做出的概念圖

4、 國康版

國康版對於演化機制的描述，置於國一下第 3 章第 1 節，標題為「持續改變的生命」，扣除補充資料如「知識快遞」、「動腦時間」及圖片不談，正文共 9 段、56 行，約 1100 字左右。以字數或篇幅而言，該版對於演化機制的描述，為國中各版本中份量最重者，其內容可整理成如圖 4-1-4 的概念圖。

該版先定義「演化」為生物在漫長地球史中的改變現象，由圖 4-1-4 可知在該版中，拉馬克的用進廢退說和達爾文的天擇說，被呈現成競爭性的兩種演化機制，都試圖去解釋演化現象，雖然在正文中，沒有明顯做出比較，但和國教版相同，以圖示長頸鹿的演化，來比較兩種機制的不同。

該版在討論天擇時，和其他三個版本相同，都從個體間的差異，造成適應力不同；和個體過多，造成資源不足，之後將兩者匯整成競爭及競爭後的結果：「不能適應者淘汰」；「適應者存活」，並繁衍出有同樣性狀的下一代，最後造成族群中適應性狀的比率增加。因此在達爾文天擇機制的說明上，國中各版本皆相同。

該版在提到拉馬克時有一段話：「但是拉馬克認為『生物的性狀會改變』此一觀點，仍為大眾所接受」（p55），「生物性狀會改變」的論點並非源自拉馬克（Marks；張明渭 & 張康英，1995；闕崇智，1997），但這段話，恐怕會造成閱讀者誤解這個論點是拉馬克所提出。

國康版和國漢版相同，都有提及「人擇」一詞，但同樣未對「人擇」與「天

擇」機制，做架構完整的類比比較，以致於人擇與天擇兩者間，看不出明顯的概念連接。也因此可能同樣的，引用「人擇」一詞，可能反而對「天擇」有誤解。

雖然該版在演化機制的篇幅在國中版本中最多，但焦點只在拉馬克與達爾文的兩種機制，並未提到創造論，也無現代的演化觀點，亦即無類似國楠版提出的「現代綜合論」，甚至不像國教版有明白表示出天擇說有所不足。整體而言國康版對於演化機制的整體描述，相近於國漢版。

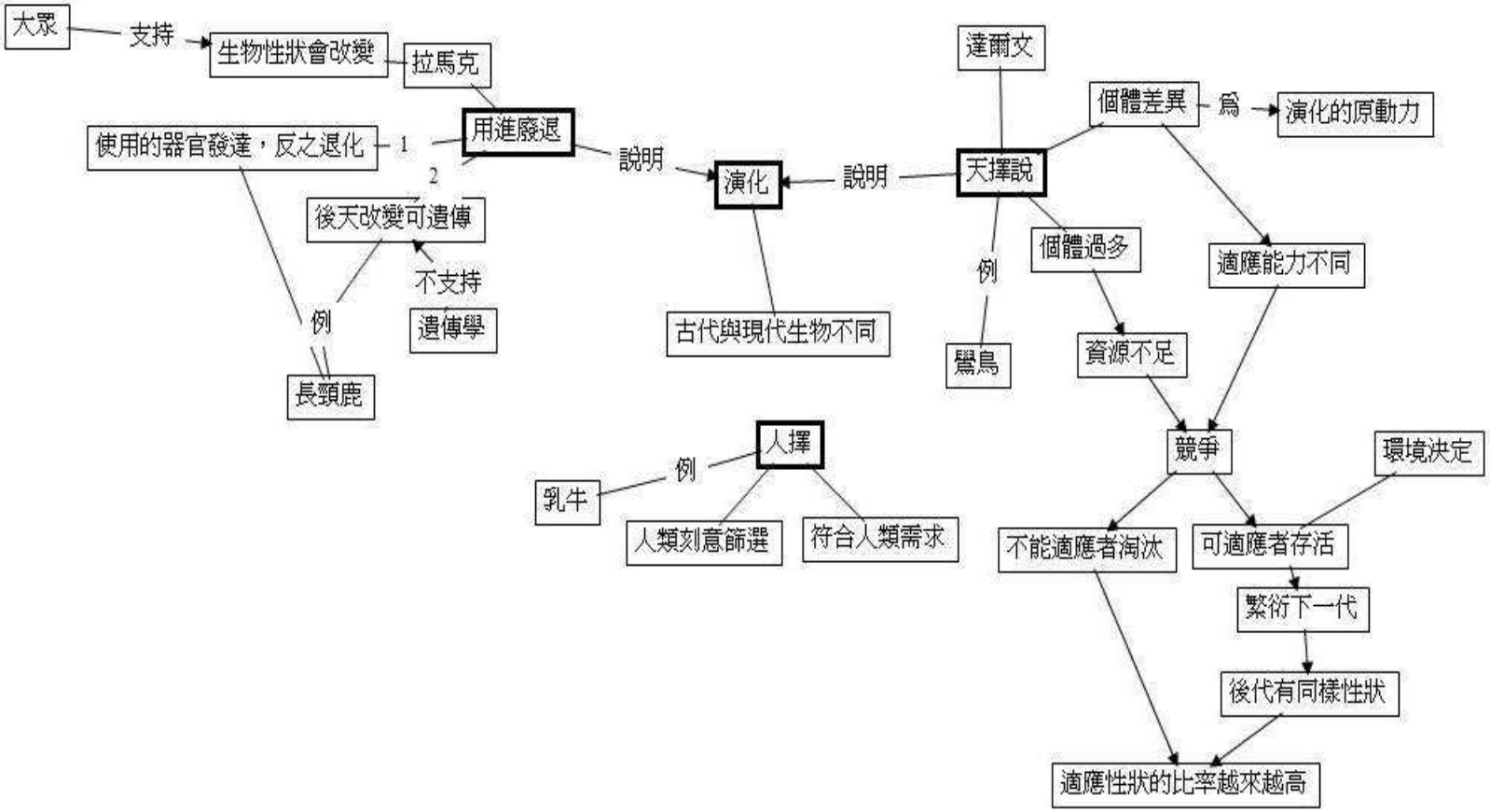


圖4-1-4 筆者針對國康版演化機制的正文，所做出的概念圖

（二）高中各版本

受到 84 年 10 月公布之生物課程標準的規範，所有高中生物對於演化機制的描述，都置於高三下第 14 章，且每一版本在此章都有三節，分別介紹演化的原理、證據及人類的演化過程。演化置於高中生物的最後一章，筆者猜測應是課程標準委員會認為演化這個概念需要奠基在所有其他生物概念之上，才做如此決定。自 97 學年度起，這是中學生在國一學過演化之後，第一次再有專章來討論演化，時隔五年，學生的認知能力、經驗都已大幅成長，且高三生物屬於選修，專提供給未來有志於報考大學生物相關系所的學生閱讀使用，因此高中版對於演化的描述，比起國中自然內容豐富許多。

1、 高融版

高融版描述演化機制的章節名稱為「演化的原理是什麼？」，以疑問句做章節標題，是該版的特色，似有探究式學習的用意。本節內容除圖片外皆屬正文，無類似國中版「動動腦」的補充資料。本節又分四小節，總計 15 個標題，共 30 段、146 行，約 4500 字左右。該版對於演化機制的描述，可整理成如圖 4-1-5 的概念圖。

圖 4-1-5 所示的概念圖，並未列出該版該節所有內容，為避免本圖過於龐雜而難以閱讀，有兩個部分筆者省略而未製圖。一是達爾文演化思想的發展過程，

包括達爾文在小獵犬號上的觀察，以及其他學者對達爾文的影響；二是該版使用了許多例子來說明演化，幾乎每一個概念都有圖或文的舉例，由於例子甚多，因此此概念圖並未將這些「例子」納入。

該版對於演化機制的說明，複雜度明顯比國中版本提昇不少，主要有三個主概念，一是達爾文演化學說的內容與發展過程，二是經遺傳學發展之後而產生的現代演化觀念，三是提到物種生成的機制。在達爾文的天擇上，該版的定義是早期對於天擇常用的四個要點：過度繁殖、生存競爭、可遺傳的變異、適者生存。

在現代演化觀念上，則著重遺傳變異的產生，包括突變與有性生殖等，除了把遺傳學知識納入之外，在突變部分提到的任意無目的、不一定有利弊兩個特性，可算是筆者認為的複雜系統中的不可預測、突現等特性。現代演化觀念上，另外提到遺傳變異、天擇、適應、隔離四種改變的動力，會影響基因庫，並進而導致演化的發生，但文中只提了基因庫這個名詞，但未對之加以說明。只有在「天擇」這個動力上再引入了基因型概念，更彰顯現代演化概念受遺傳學影響的部分。

因此達爾文的天擇說與現代演化觀念，兩者的概念連接點為「遺傳變異」，現代演化概念對於遺傳變異的產生下了很大功夫。兩者另有一共通名詞「天擇」，但在該版文字中，沒說明這兩個「天擇」有何異同。

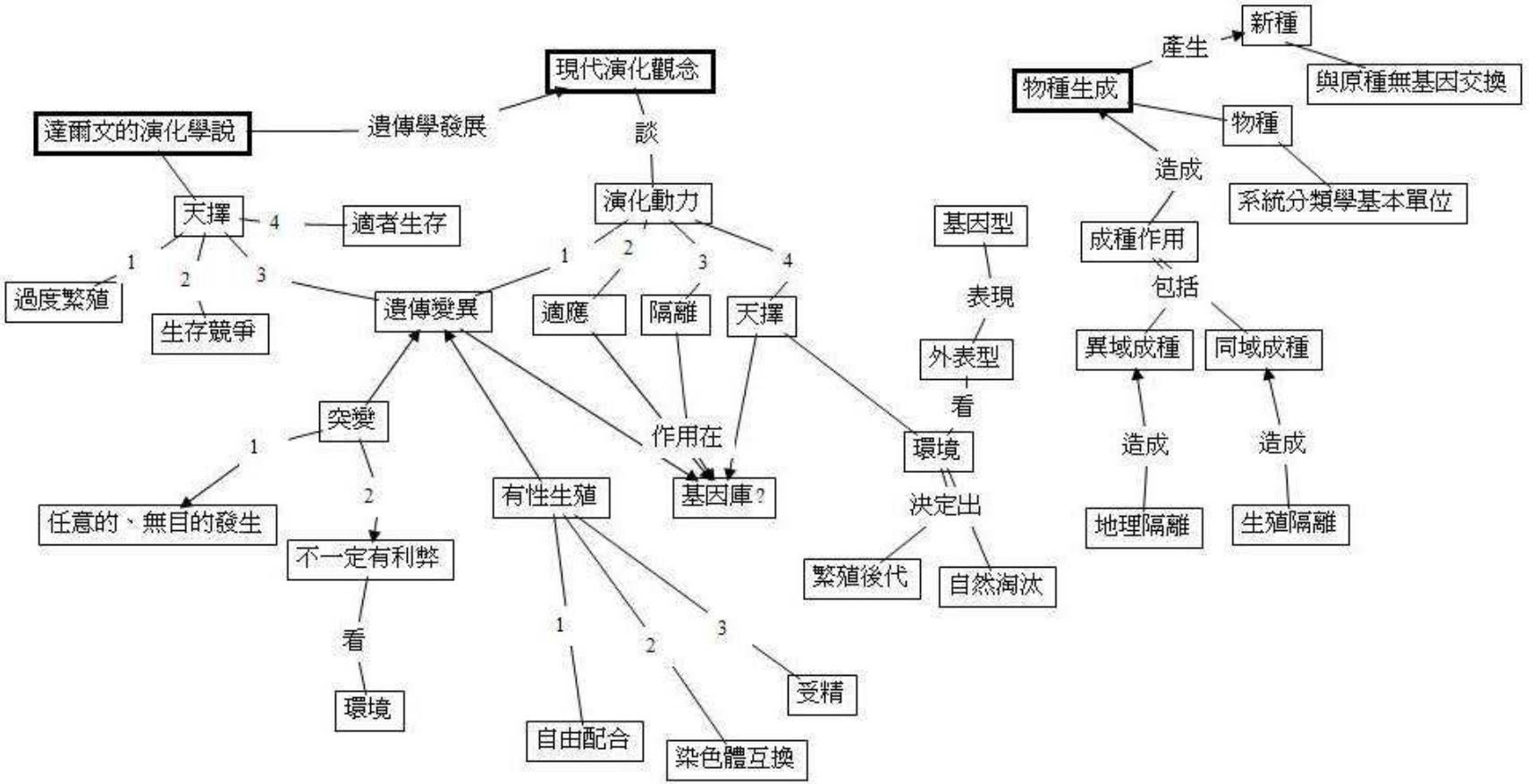


圖4-1-5 筆者針對高融版演化機制的正文，所做出的概念圖

該版以地理隔離和生殖隔離兩個機制來說明新種的產生，對於此兩機制的說明十分詳細，但與「選擇」、「變異」的天擇機制，連接性不明顯。換言之，談到的物種生成現象，與另兩個主題達爾文演化學說和現代演化觀念等的「天擇」觀念無太明顯概念連接相關，在概念圖上因此呈現出分離面貌。

2、 高楠版

高楠版描述演化機制的章節名稱為「演化的原理」，本節內容除圖片外另有一些「想一想」、「進階常識」等補充資料。本節正文又分演化論、遺傳變異及演化、物種的形成等三小節，共 18 段、124 行，約 3700 字左右。該版對於演化機制的描述，可整理成如圖 4-1-6 的概念圖。

該版描述演化機制有五大主題：創造論、用進廢退說、天擇說、遺傳變異與物種形成，概念的相關連接較明顯，用進廢退說以反對「物種恆久不變」而誕生，用進廢退的「物種會改變」影響天擇說的誕生，遺傳變異解決了天擇裡個別差異的來源問題，也進一步說明物種的產生。

前面的高融版使用例子多，且常針對特定概念或命題，例如：以水蚤的突變種在不同水溫存活情形，說明突變的未必有利或有弊，由於例子太細且多，因此難以畫入概念圖；而高楠版的例子主要針對整體機制，數量較少，故在概念圖上有呈現其所提供的例子。

在達爾文的天擇說上，和國中版相同，主要由「個體數量過多」、「過體之間

有差異」來做為天擇的出發點，而後造成「適應者生存機會大」，有趣的是該版不像國中四版本及高中另兩版本明確提到「競爭」一詞。

或許是高楠版與國楠版為同一家書局所出版，兩版本處理演化機制的概念呈現頗相似（參考圖 4-1-2 與圖 4-1-6），同樣都有著創造論、拉馬克對物種不變的反駁、用進廢退的缺點、達爾文天擇說的內容。兩者差異部分，除了高中版顯而易見地較為深入之外，另外還有以下幾點：

1、國楠版直言拉馬克認為「生物並非神所創造的」，而高楠版只提了用進廢退與創造論的不同，在於前者「深信物種不是固定不變，現存的物種都是起源於先前存在的物種」，並高楠版未直言否決「神創造」。
2、高楠版並無「現代綜合論」的名詞，而是以和高融版相同，同樣以更為清楚詳細得遺傳學原理說明現代的天擇觀念。
3、高楠版並無「存活者不一定是適者」等筆者定義的複雜系統特性，而這些特性在國楠版反而有明確提及。
4、高楠版雖提到個體數量過多、個體有差異，但並無提到「競爭」一詞，只提到「適應者生存機會大」。

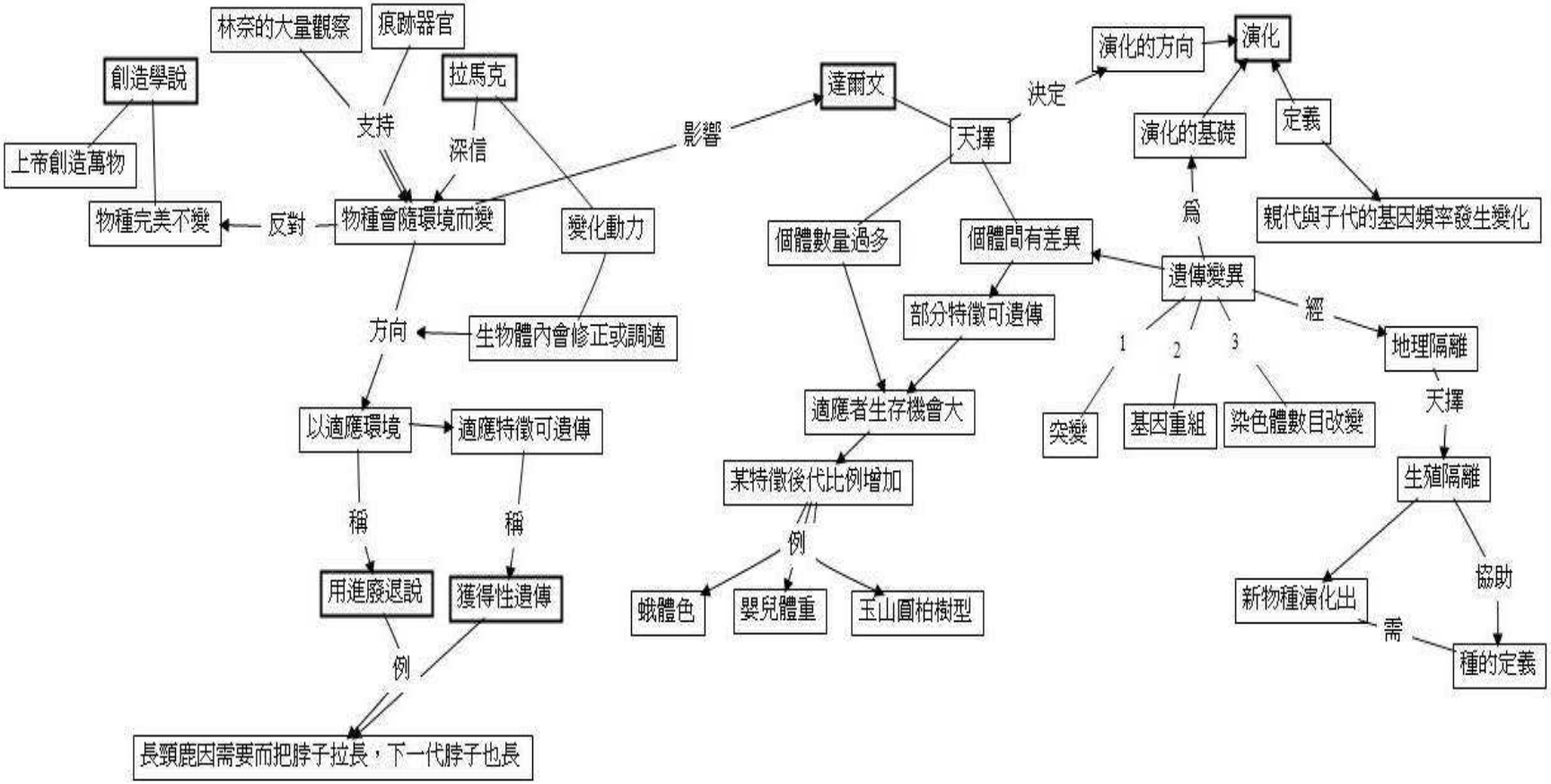


圖4-1-6 筆者針對高楠版演化機制的正文，所做出的概念圖

高楠版中有另一個值得討論的重點，就是拉馬克的定位，該版強調了拉馬克的重要性，一是給予達爾文「物種會演變」的啟示，另一是提到「拉馬克試圖從機制的層面來探討生物演化的過程」（p200）。

3、 高康版

高康版描述演化機制的章節名稱亦為「演化的原理」，本節內容除圖片外另有一些「科學史」、「想一想」、「天擇模型」等補充資料。本節正文和高楠版相同，又分演化論、遺傳變異及演化、物種的形成等三小節，共 20 段、154 行，約 3200 字左右。對於演化機制的描述，可整理成如圖 4-1-7 的概念圖。

高康版的編排較近似於高融版，前段主要談達爾文發展出天擇說的個人認知發展史，重心也放在天擇說，而物種生成的機制也與天擇機制沒有明顯的關連，看似獨立的段落，這幾點與高融版相同。不過比起高融版，高康版稍微提到一些拉馬克的用進廢退說，對於個別差異的產生，高康版則只有提到「突變」，並未提到有性生殖。

在達爾文的天擇說上，分成四個要點，為「物種會變」、「演化為長時間連續變化」、「生物有共同始祖」、以及：「生存競爭適者生存」。令筆者比較困惑的是，該版對於「天擇說」、「生存競爭」、「演化論」，似乎難以區分。例如提到「生存競爭」是物種原始一書，最重要的論點，可用以反駁拉馬克的「用進廢退」，在下一段一開頭，又提到「天擇說」有四個要點：物種會變、演化為長時間的連續

性變化、相近生物有共同祖先、生存競爭適者生存。隨後又在下一段提到：生存競爭適者生存是演化論的核心。這種名詞混用的狀況，筆者認為會增加閱讀者對「演化機制」的困惑。

雖然高康版提到用進廢退，但也不像高楠版明確的把用進廢退說裏「物種會演變」，視作深深影響達爾文天擇說發展的重要關鍵。反而把用進廢退和天擇說，視作對「物種會演變」這個現象的兩種競爭性典範，同樣針對長頸鹿脖子之如此長做出演化機制解釋，也與國教版相同，用圖比較拉馬克與達爾文對「長頸鹿」演化機制解釋的不同。

和高楠版不同，雖然同樣提到基因頻率改變，但高康版：「…突變基因頻率提高，結果造成族群性狀改變，發生演化的現象。」而高楠版則是：「生物演化是指親代與子代的基因頻率發生變化。」雖然兩者的定義都沒錯，，但明顯的，兩者對演化有著不同的定義。

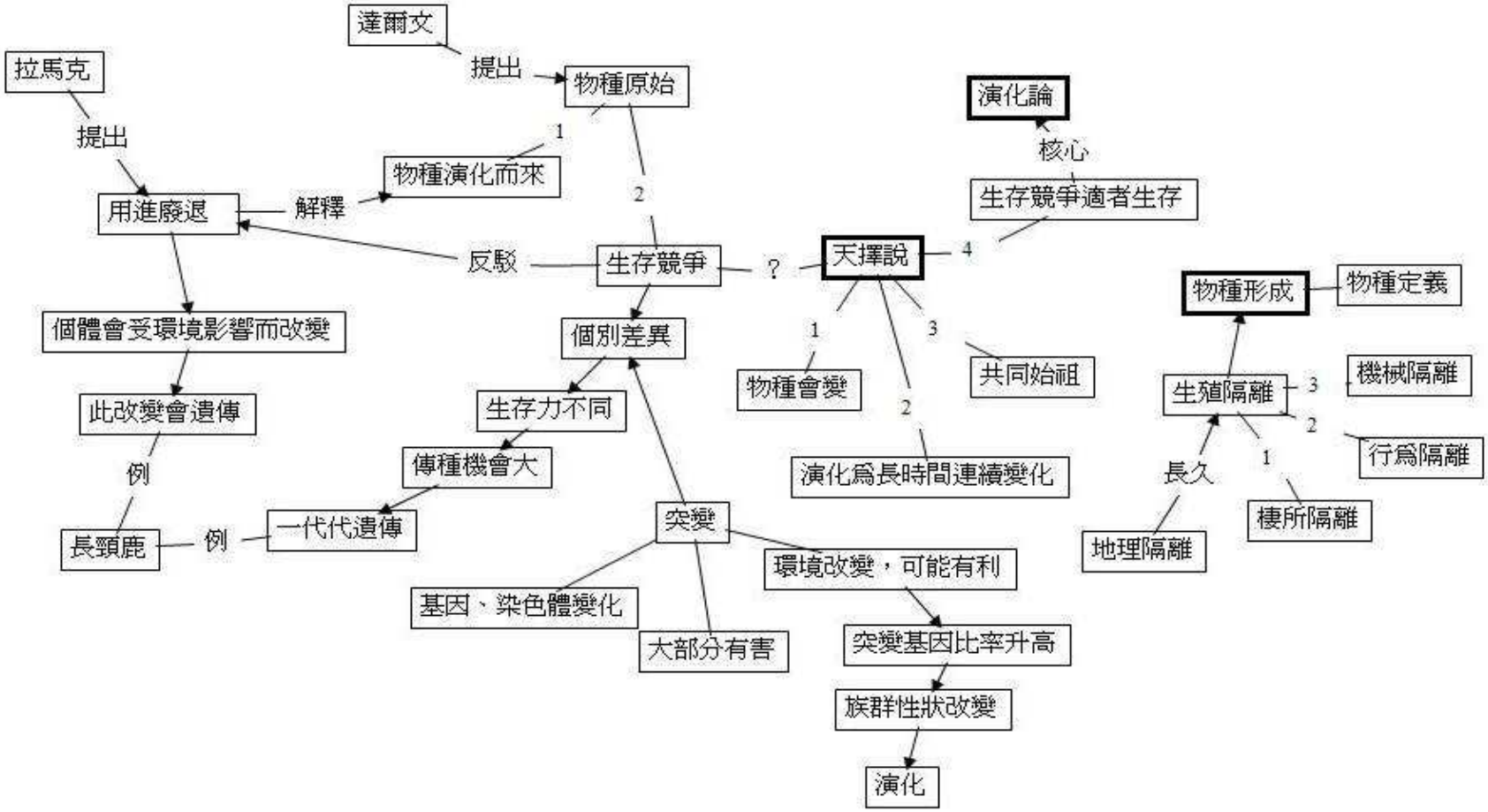


圖4-1-7 筆者針對高康版演化機制的正文，所做出的概念圖

該版在「突變」的描述上，亦提及當環境改變時，本來有害的突變可能變成有利，這也屬於筆者定義的複雜系統特性之一：「不可預測」。故該版有部分的複雜系統融入演化，這點與國楠版、高融版相同。

（三）小結

由圖 4-1-1 到圖 4-1-7 等七個概念圖及內容分析，可以看出不同版本在演化機制描述有著異同之處。表 4-1-1 呈現中更清楚的比較，例如標題與詳細程度（字數）各不相同。

在國楠、高楠兩個版本中，提及全部四個與演化有關的機制，其餘版本則未全部提及。用進廢退則除國漢和高融之外，其他都有，其實國楠版在書本課外補充資料中有提及，而高融版則完全未提之。現代演化觀念上，國漢、國教、國康三版本未提及，不過國教版有提到有新理論的需求，只是未說明內容。高中三版本和國楠版有提到內容，不過只有國楠版為新理論給個名稱：「現代綜合論」，而高中三版本則將現代理論內隱在遺傳變異的討論上。

在「科學史融入」上，所有版本都有相關內容，國漢與國康提到達爾文在小獵犬號，國楠版則提到演化理論的演進。國教版則因為有略提到用進廢退現已式微，而天擇說現盛行，有一個理論取代另一個理論的意涵，因此在此也列為有科學史融入。國中版其實只有極少篇幅有關於科學史，高中版則較豐富，有充分的

科學史融入內容，不過寫法有差異，底下再行討論。

針對達爾文的天擇，雖然用詞遣字或有不同但不出：個別差異導致適應力不同、繁殖數超過存活數、生存競爭、適應者存活、生物演變等五項，比較特別的是高楠版沒有用到「生存競爭」或「競爭」一詞，底下將就此一情況來討論。

在有提到拉馬克的五個版本中，令筆者感到有趣的是：教科書作者對於這兩人（理論）的關係有兩種不同的描述，國楠與高楠版把拉馬克的「生物會演變」的想法，視作對達爾文重要啟發。其他三版本則將拉馬克的理論與達爾文的天擇，視為共同競爭的典範，當然最後都說明了達爾文的理論較優。

最後，在本節中另有提及相關主題，國中有兩版本提到「人擇」高中的版本則都提到「物種形成」，不過只有高楠版把物種形成與天擇做出比較明顯的連接。而在遺傳學理論的引用上，有兩個角度，一是提到「後天性狀不可遺傳」，提到用進廢退說的版本，都會提到這一點；另一角度：遺傳學對個體變異的由來做出說明，國漢、國楠與高中三版本有提及。

表 4-1-1 各版本教科書在演化機制描述的異同

		國漢	國楠	國教	國康	高融	高楠	高康
標題		演化的學說	生物怎樣發生演化	生物演化的理論	持續改變的生命	演化的原理是什麼？	演化的原理	演化的原理
字數 *		700	970	620	1100	4500	3700	3200
正文中提到的演化機制	創造論	無	有	無	無	有	有	無
	用進廢退	無	有	有	有	無	有	有
	天擇	有	有	有	有	有	有	有
	現代觀念	無	有，且命名	無	無	有，但未命名	有，但未命名	有，但未命名
科學史融入		有	有	有	有	有	有	有
達爾文的天擇要點			個別差異導致適應力不同 繁殖數超過存活數 生存競爭 適應者存活 生物演變				無「生存競爭」	同高融等五版本

達爾文與拉馬克關係		未提	拉馬克啟發了達爾文	兩者為競爭理論		未提	拉馬克啟發了達爾文	兩者為競爭理論
相關概念	人擇	有	無	無	有	無	無	無
	物種形成	無	無	無	無	有 未連接	有 有連接	有 未連接
遺傳學	特定性狀遺傳	無	有	有	有	無	有	有
	遺傳變異的由來	有，未與達爾文分割	有	無	無	有	有	有

針對表 4-1-1 的整理，及一些其他的異同，筆者對教科書中演化機制的敘述，提供進一步的比較和一些想法及建議：

1、 <u>天擇與人擇要做出異同比較</u>

人擇與天擇都有「變異」、「選擇」、「新（品）種形成」等的相同機制，但達爾文的物種原始一書中，開頭第一章就引用了大量人擇的例子（孫克勤譯，1989；葉篤莊 *et al.*，1998）。這個類比造成天擇說比創造論而有強大的解釋融貫性，是達爾文的「天擇」典範取代「創造論」典範的重要論證（Thagard，1992）。因此

用人擇為例，應該可以使讀者了解天擇發生的可能。

但人擇與天擇最大的差別在：人擇是選擇者（人類）依需要而主動選取出特定生物，而天擇則是選擇者（環境）並不會依其需要而選出特定生物（北極環境本身並不需要長毛生物），而是某些生物恰能適配於北極環境。因此人擇與天擇看似過程相當，但有著主動與被動的差異。從解釋的角度看，人擇的現象，符合有意識傾向目的論本體，而天擇的結果，則屬無意識傾向。

由於人擇和用進廢退相同都具有目的論傾向，只是人擇是「選擇者」的目的，而用進廢退是「被選擇者」不知名的潛意識目的。因此，課文若敘述到人擇，卻無做出上段所討論的人擇屬性，則或許會造成另有概念的發生，當然，這需要進一步研究，不過筆者認為若要提到人擇，則必須明示其類比侷限於某些機制。

2、 拉馬克在教科書中的定位

拉馬克在生物演化理論進展的科學史中有其重要地位，尤其是科學教育研究中，他的用進廢退說，常被視為學生固有而難以改變的另有概念。不過國楠與高楠都把拉馬克視為是推動達爾文天擇說發展的重要推手，因為拉馬克有「物種會演變」的想法。兩個對拉馬克不同的敘述，造成拉馬克到底是「好人」還是「壞人」的疑惑？

由科學史的演進和兩者的理論看來（關崇智，1997），拉馬克與達爾文應既是「師徒」也是「對手」。此事便引發了一個問題，當我們把科學史融入演化教

材時，拉馬克的定位為何？當達爾文「老師」的「好人」，還是誤導大家對演化機制理解的「壞人」？筆者在此沒有答案，只是提出一個想法，供日後編寫教科書演化內容，且想把科學史融入者一個參考。

3、 科學史融入演化教材

除了拉馬克的角色之外，筆者也發現這些版本中，在科學史融入上，有些差異。在處理達爾文天擇說源起的腳本有所不同，高融版、高康版主要篇幅談的是達爾文本身的觀察以及萊爾、馬爾薩斯、華萊士等學者的影響。而高楠版談的是原有的創造論與用進廢退說的錯誤，之後在簡單提到達爾文的觀察與僅一位學者華萊士對其的影響，導致天擇說的提出。可以說，這兩個版本處理天擇說出現的討論焦點不同，高融版聚焦在達爾文個人概念發展的過程，高楠版則以科學發展史為軸，討論不同典範的內容與興替。

一個是個人的認知發展分析，一個是各種理論興替分析，兩者孰優孰劣，筆者在此也無法做出評論，在此只是提出一個分析角度，供日後編寫演化課程或進行分析者一個參考。

4、 遺傳學在天擇的地位

遺傳學理論對於天擇的貢獻有二，一是駁倒了「用進廢退」提到「後天性遺傳」，只要討論「用進廢退說」有誤時，就會引用到這一點；另一貢獻是：遺傳

學提出了「突變」、「有性生殖」兩機制，說明了個體變異的由來。遺傳學並非達爾文原有天擇的內容，因此若單純描述達爾文天擇時，不應提及此點，國漢版未區隔達爾文天擇說與遺傳學，或許會使學生對科學進展有誤解。國楠版及高中三版本的文字敘述，的確可區隔達爾文天擇說與遺傳學。

5、 競爭

除了高楠版之外，其他版本在敘述天擇要點時，都提到「競爭」或「生存競爭」一詞，這的確是達爾文物種原始的重要核心，如物種原始一書的第三章全章在討論「生存鬥爭」(孫克勤譯，1989；葉篤莊 *et al.*，1998)，這是由馬爾薩斯人口論所引發的重要觀念，但為何高楠版未提到此一要點呢？

答案或許是「競爭」已非現代演化論的關鍵，源自個別差異的競爭優勢一詞，會有侷限於「種內競爭才會引發演化」的錯覺，事實上「種間競爭也會影響演化」，甚至於「掠食也會造成演化啟動」，例如掠食是許多生物的天擇因子，獵物們在這個天擇壓力之下，發展出了許多因應之道，包括形成群體、外型改變等（Beauchamp & Ruxton , 2007 ; Childress & Lung , 2003 ; Krebs & Davies , 1993 ; Treves，2000）。因此判斷「適應」，並非由競爭優勢單一因子考量，而是要兼顧多因子，這也是筆者試圖以複雜系統融入演化教學的用意。高楠版避開了「競爭」一詞，應是以較現代的演化機制觀點來說明。

6、 達爾文的天擇說在教科書中的定位

達爾文所提出的「競爭」一詞，已非演化的必要條件，現代演化教科書，都用「適存度」(fitness) 一詞，也就是子代繁殖的數量，來評價演化優勢者（Futuyma，1998；Smith & Blumstein，2008）。換言之，我們已意識到達爾文的理論已不夠完整的描述演化，如此，為何我們還是以達爾文的天擇當演化機制作為論述的焦點？是否不用再提達爾文的天擇說？

筆者目前身兼高中生物教師，對高中生物的各單元內容尚稱熟悉，可以發現，除了天擇的達爾文，其他生物理論如血液循環，並未提到貢獻甚大的哈維（Thagard，1992；關崇智，1997），又如光合作用，也未提到對此理論奠基的最重要貢獻者，那為何天擇說需要花費一大篇幅由科學史討論此理論的奠基呢？

如果因為達爾文天擇學說在各學門領域的重大影響力（Thagard，1992），而值得去提天擇的發展史，但當今的教科書是否仍要以不完整的達爾文天擇做為描述演化機制的正確典範（如國中除國楠之外的各版本），還是以當代的演化觀念作為描述演化機制的正確典範，而只將達爾文視作重要貢獻者，不需再去深談其天擇？筆者在本論文中，也是設法融入解釋類型或複雜系統於演化論課程改良中，筆者認為若只談達爾文的天擇，因為會提到「生存競爭」，如此會造成單因子天擇的想法，事實上演化應是含競爭在內，多因子互動的結果。值九五課綱版本高三演化編寫前夕，及兩年後要實施的九八課綱即將規劃，筆者建議「演化」的內容中，達爾文的定位必須重新思考，應視其為對演化論重要貢獻者，但已不需去談他的天擇機制（除非科學史融入的教材），若真要談，也應該清楚地表達

天擇說已不足以闡明演化，應用現代融入遺傳、複雜系統等觀點來看演化機制。

二、解釋類型分析

除了進行演化機制提及的概念內容做出概念連結與相關分析之外，本小段將對課本演化專章的文字敘述進行解釋類型分析。雖然教科書內容當中會出現各種不同的敘述方式（圖 2-3-2），但筆者在本研究對「解釋」有嚴格的定義，依第貳章文獻探討和第參章第六節資料分析，「解釋」有兩大類，一是對現象的起因做出說明，此類屬科學解釋，又可分功能性、機制性、通則性三大類；另一是用於促進聽者理解現象成因，此類屬教學用解釋，包括類比、擬人化等，不需考慮因果或邏輯正確，只要能協助聽者理解。其他習慣上被稱為「解釋」者，如「名詞解釋」、「解釋顯微鏡的操作方式」，在本研究中，不視之為解釋。透過文獻整理出來的解釋類型，如圖 2-3-2，較繁瑣不易分類。因此筆者透過前導研究，重新簡化成圖 4-1-8 所示的幾種類別，左大列的「解釋」與右大列的「非解釋」，「解釋」中包括說明現象成因的科學解釋，以及促進讀者了解的教學性解釋。右列的非解釋，則包括如名詞定義，未被解釋的敘述句（如純現象觀察），操作儀器的程序性知識，科學史或其他等等。

本解釋類型分類分析的標的為各版本的演化專章，不僅是演化機制而已，也包括了各版本對演化的相關討論，如演化證據、地球生物演化史、人類演化史等。由於篇幅有限，筆者無法將所有課文列出，也無法一一提出每一個解釋段落的解

釋類型編碼，和其被如此編碼的原因。因此底下將為每一解釋類型各舉一些實例，最後再以量的統計結果將各版本編碼的結果列表做一比較。筆者實際以此編碼分析之後也發現，有些課文敘述句不易歸納至特地編碼，因此在編碼實例的討論中，會交雜的談及筆者編碼的細部規則。

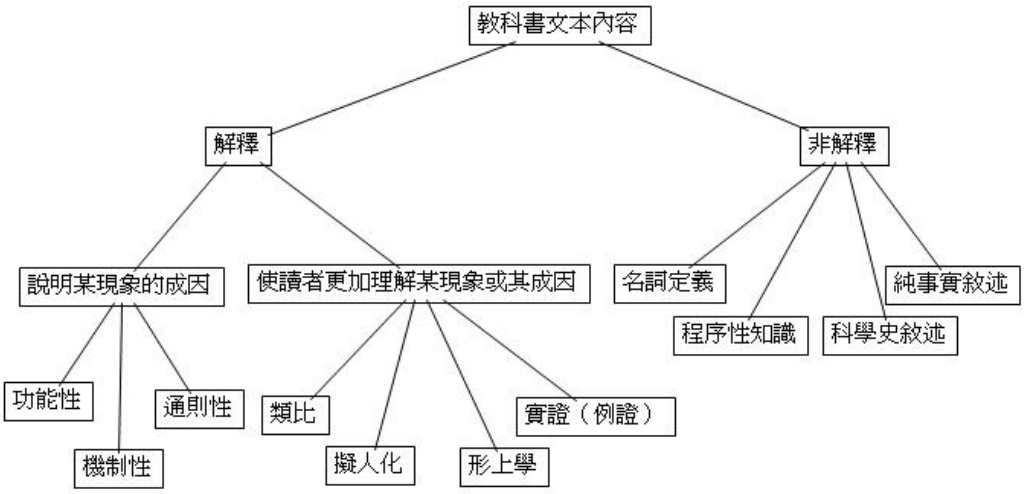


圖 4-1-8 解釋類型的編碼

（一）編碼實例

1、 科學解釋

本解釋類型，是以一些文字敘述（解釋項），來說明一個現象（待解釋項）的成因。因此一個科學解釋段落構成，必須有兩個條件：

1、同時具「解釋項」、「待解釋項」；

2、「解釋項」的內容，是針對「待解釋項」的成因。

（1） 功能性解釋

如本論文的定義，功能性解釋為「以某一現象、事件、結構的存在，造成的利益、優勢，來說明該事象、結構，得以存在的理由。」簡言之，現象的成因便是現象本身帶來的利益。例如

> 現存的鯨類都沒有後鰭，確有退化的骨盆和後腿骨，…水中生活的鯨類如果保留無功能且妨害運動的大後肢，只有浪費血液來運送養料，對於個體而言無意就是負擔。（高康版，p218）

本段文字中有框線處，表欲被解釋的現象（待解釋項），文字有底線處，表說明該現象的成因（解釋項）。如「現存的鯨類都沒有後鰭，確有退化的骨盆和後腿骨」是教科書作者想要解釋的現象。而「水中生活的鯨類…對於個體而言無意就是負擔。」這一大段的敘述，是在解釋該現象的由來。這段文字中出現了「解釋項」與「被解釋項」的組合，因此屬於「解釋」，而非文字內容中的另一大類「非解釋」。

本段文字之所以被編碼成「功能性解釋」是因：本段以現象（痕跡器官）本身的優點，來解釋現象（還是痕跡器官）的出現，故屬於功能性解釋。值得一提的是，本段文字是以反面來敘述：若不成為痕跡器官則有壞處，不過，筆者仍將之編碼成「功能性解釋」。

（2） 機制性解釋

機制性解釋的定義為「以某一現象、事件、結構的存在和活動，解釋另一事象、結構的存在和活動。」引發之後現象發生的前一現象事件或結構，可以為後來現象的組成成分，即某一成分進行某一活動，進而影響下一成分進行下一活動，最後導致一個現象的發生（Machamer *et al.*，2000）。或是成分之間彼此的互動，最後導致現象不可預期的發生（湯偉君和邱美虹，2007）。因此構成機制性的解釋中，解釋項必須至少要有成分（作用體），以及該成分的活動或特性。如下例：

> 在陸地上，由於具有種子的裸子植物較能適應陸地上乾燥的環境，因此漸漸成為陸地上的優勢植物。（國漢版，p69）

本段文字中，待解釋現象為「裸子植物…漸漸成為陸地上的優勢植物」，而「裸子植物較能適應陸地上乾燥的環境」則是現象的成因，在這個解釋段落中，現象的成分（裸子植物）的特性（具有種子），使現象（裸子植物成為優勢）得以發生。和功能性解釋不同的是，此處的「現象」本身並無優點，換句話說，如果用「裸子植物成為優勢」帶來的利益，來說明「裸子植物成為優勢」時，這樣才會算是功能性解釋。另如：

> 四億多年前，陸地上開始出現蘚苔類植物、蕨類植物…，由於植物的表皮具有角質層，因此可以防止水分的蒸散。（國漢版，p68）

本段文字中，待解釋現象為「四億多年前，陸地上開始出現蘚苔類植物、蕨類植物」，而「植物的表皮具有角質層，可以防止水分的蒸散」則是現象的成因，在這個解釋段落中，現象的成分（蘚苔類植物、蕨類植物）的特性（表皮具有角質層），及其特性引起的活動（防止水分的蒸散），使現象（陸地上開始出現這些植物）得以發生。

（3） 通則性解釋

依本論文定義，通則性解釋指的是：「用一套通則定律來解釋事件，不需涉及因果傳遞」。如：

提出「用進廢退」的理論，來解釋生物個體會隨著生存環境的變化而改變。

（國康版，p55）

這一段話，是用「用進廢退」這一通則，來解釋「生物個體會隨著生存環境的變化而改變」這個待解釋項。通則性解釋在演化專章中頗為少見，符合生物哲學上對生物學科本質的討論（Sterelny & Griffiths，1999）。

2、 促進理解的解釋

本解釋類型目的，於促進讀者對某一段文字的了解，因此與科學解釋相同，一個促進理解的解釋段落構成，必須有兩個條件：

1、同時具「解釋項」、「待解釋項」；

2、「解釋項」的內容，是更清楚的說明「待解釋項」。

和科學解釋不同的是，「解釋項」不是在描述「待解釋項」發生的原因，而是讓讀者更了解「待解釋項」。在圖 4-1-8 中列出的這類解釋有：類比、擬人化、形上學、實證（舉例）。實際研究發現，只有「舉例說明」，較常出現在教科書的文字內容中，另三種極罕見，因此將之合併討論。

（1） 類比、擬人化與形上學

在本次的課文分析中，並未發現訴諸於信仰或不知名的神聖力量的形上學解釋；類比與擬人化解釋也各只有一個，分別如下：

> 生物要面對不斷變動的地球環境，若不能適應，便有可能漸漸被淘汰。就好比某些風靡一時的事物，也會隨著時代的變遷，而可能走入歷史。（國康版，p54

本段文字以後面的「某些風靡一時的事物變化」來促進讀者對「生物被淘汰」現象的理解，故屬於一個類比解釋，但這也是筆者所發現的七個版本演化專章中，唯一的類比解釋。林孟慧（1998）曾整理出西方科學教科書內類比使用的情形，發現中學物質科學類的教科書，平均每本書的類比約有 8 個。雖然演化專章只是一本教科書內的一章，但七個版本中只有一個類比解釋，如此看來生物的演化專章中的類比解釋量相對較少。這可能是原因有：生命科學現象的本質不適合或不需要用類比解釋；演化此一議題不適合或不需要用類比解釋。不過原因出自為何，本研究無法解答，需進一步實證探討。

某些長頸鹿努力要吃到比較高枝幹上的嫩葉，於是它們的脖子就變長。（高楠版，p200）

本段文字以「有志者事竟成」的觀點，以「努力」來說明「脖子變長」，筆者認為這屬於一種擬人化解釋。許多版本都討論過拉馬克的用進廢退，但只有高楠版以這種擬人化的說法加以敘述，可能是其他作者有注意到用進廢退的擬人化、目的論的傾向，而盡力迴避之，不過這純屬筆者個人臆測。

（2） 實證

實證解釋其實就是舉例說明或證明，本文以實證為名，而不以舉例為名，乃引自（Treagust & Harrison，2000）。實證常會被認為也是一種科學解釋：提供了證據來推論一個理論或確保一個理論的正確。但本研究引用 Popper 的否證論觀點（林正弘，1991）：證實並不能確保理論的真，因為只要有一反例，理論便可以被推翻。故現象的成因，使用舉例或經驗甚至實驗結果來說明，筆者認為都不算是科學解釋，只能算是促進理解的實證解釋。例如下兩例，都以後段的實際例子，促進理解似地說明前段的現象。

有時人類會依據不同的需要，培育出各種適合人類利用的物種，例如：金魚、乳牛和水稻等。（國漢版，p55）

親緣關係相近的生物基因相似度愈高，例如：人和豬控制體內胰島素製造的基因組成很相似。（國漢版，p55）

3、 非解釋

這一類別當中，是一段敘述中，找不到「解釋項」與「待解釋項」組合者，純係一段格言、一個觀察的敘述等。在編碼時，能發現「解釋項」與「待解釋項」組合者，會先被列為「解釋」，而無法找出這種組合者，該文字敘述會被列為「非解釋」。例如：

> 人類奔跑、攀岩及游泳等方面的能力，雖然遠不如很多其他動物，但是人類卻有發達的頭腦及直立的姿勢。（高楠版，p223）

如果文字就此告一段落，且本引用文原處的上文與下文，文字與本段毫無解釋的關連，則本段會被列為「非解釋」。但如果此文字敘述，後面加一句話，改為：

> 人類奔跑、攀岩及游泳等方面的能力，雖然遠不如很多其他動物，但是人類卻有發達的頭腦及直立的姿勢。這兩大特徵導致人類會使用工具創造出今日的文明。（高楠版，p223）

則此段文字敘述將被列一個「解釋」，因為有解釋項（頭腦與直立姿勢）兩大特徵）和待解釋項（使用工具創造文明）。而且將被列為科學解釋中的機制性解釋，因為「解釋項」並非幫助理解而是解釋出成因，且是以成分的特性，說明出現象的產生。此時這一大敘述就不會被列為「非解釋」，因為筆者編碼的順序，是優先考量其是否為科學解釋，在考量其是否是促進理解解釋，若無法列入，則

才會列為「非解釋」

非解釋包括底下幾類：名詞定義、純觀察的描述、操作型知識、科學史及其他。

（1） 名詞定義

名詞定義在教科書中頗為常見，在課本文字中常以黑體字表明需要被定義的名詞，通常黑體自會被擺在一些文字的前方或後方，例如下兩例：

> 在同一族群中，不同個體間有遺傳結構及表現型上的差異，此稱為**個體變異**。（高楠版，p205）

> **遺傳變異**：任何一個族群的成員之間，其性狀都會有差異，而這些差異是可以遺傳的，也稱為**遺傳變異**。（高融版，p187）

乍看之下，黑體字很像是「待解釋項」，而在其前方或後方的文字敘述好像是「解釋項」，那為何這不能構成一個「解釋」呢？原因在於黑體字並非是一個現象或事件，而是人類為簡化知識表徵所提出的概念名詞，因此，在本論文中，凡是人類安排出的名詞，加上該名詞前後的定義，都編碼成「名詞定義」。即使該名詞對應到一個物質實體，如**尼安德塔人**、**始祖鳥**亦同。

（2） 程序性知識

程序性知識這個編碼分類類似於名詞定義的情況，例如下例：

個體發生學還是能為系統發生學提供線索，藉由胚胎發生的各個時期，以了解各種生物在演化過程中的演變情形。（高康版，p220）

本段文字的第一句「個體發生學還是能為系統發生學提供線索」看似一個待解釋項，而「藉由胚胎...演變情形」看似解釋項，來說明第一句文字。但同樣的「個體發生學...提供線索」雖是一個事件，並非是一個存在於自然的現象或事件，而是存在於人類知識世界的事件，因此，在本論文的定義中，第一句話不算是待解釋項，因此整段無法構成一個「解釋」，而後兩句話在於說明如何實踐第一句話，因此本段被編碼成程序性知識。

（3） 科學史敘述

有些課本的文字內容，在於敘述人類知識的發展過程，尤其在高中版常見，如下例：

在文藝復興之後，人類思想解放，不再受教會的束縛，同時科學研究的方法也逐漸成熟，科學家開始對創造學說產生懷疑。十八世紀末期林奈對生物進行有系統的分類，並積極推動二名法。（高楠版，p199）

明顯的，這些文字當中並無「解釋項」與「待解釋項」的組合，故不能列為「解釋」的一種，只能算是敘述，且是描述人類知識活動的敘述，故列為科學史。本段文字中，以句號做區隔，將會被編碼成兩個科學史的敘述。

（4） 純事實敘述

如果課本文字都不能被歸於前幾項分類的話，則該文字敘述會被歸於「純觀察敘述及其他事實描述」，這一分類包括了對可觀察或不可觀察的現象描述，或是未加以解釋的一段格言等，此編碼普遍見各個版本教科書中。如下例，

最早顯示靈長類的化石是在古新世地層中發現，此類似樹鼩的化石，體型大小似松鼠，有長的尾和長的吻部。現生樹鼩的特徵是指…（高楠版，p223）

本段文字是一個「描述」，本來可作為一個「解釋項」或「待解釋項」，但本文字的前後，都沒有另一個互補的句子，也就是沒有可供本文字解釋、或可解釋本文字的另一個「描述」。同時這不是一個人類知識演進的描述，因此將本文字納為「純觀察敘述」。

課本文字也有些類似規範之類「強制灌輸」的文字，例如：

推論生物演化的證據有很多，其中化石是最重要證據。（國漢版，p58）

本段文字的前後也無讓本段文字組合成一個解釋段落的其他文字，這也並非舉例（若是舉例，應要列出演化證據有哪些？），此段文字類似於不加以說明的強制接受的知識，這一類的文字敘述也被納為這一類編碼。

（二） 更清楚的編碼方式

底下將介紹筆者做此一編碼的輔助性規定，以讓讀者更能掌握本論文所統計出各類型編碼數量的意義。

1、 何謂因果

科學解釋既然是用於說明現象因果機制，包括簡單的句子因果連結，或大的解釋段落，都可能會分別歸類成科學解釋，但不是所有的文字敘述使用到的「因為、、、所以、、、」,「、、、，因此、、、」都會被認定是科學解釋。例如「族群的個體數因為受限於族群分布與數目等因素，並不容易由直接計數法獲得，因此科學家必須採用估算的方式」(國漢版 5-3 族群與群集)，此屬於研究法說明，為程序性知識，並非解釋現象成因，也非使讀者更了解現象。

2、 解釋段落

第參章所定義的解釋段落（單位），可能會重疊，如下例：

> 為了物種的延續，生物繁殖的數目會比真正存活的後代多，在個體數目過多的情況下，為了生存及延續後代，生物之間必須競爭食物、生活空間及繁殖的機會，競爭的結果，不能適應環境的個體就會遭到淘汰。能適應環境的個體才能生存下來，並且繁衍後代。經過若干代之後，能夠適應環境的性狀表現，就可能會產生變化。（國漢版，p53）

「生物繁殖的數目會比真正存活的後代多」，此為可觀察到的現象；「為了物種的延續」，則是該現象的成因，因此這兩句話共同構成了一個解釋段落。但本段最後兩句「能夠適應環境的性狀表現，就可能會產生變化」，為一個待解釋的現象，而此兩句前的整段，都在說明此現象的產生，因此本段共有三個解釋段

落，前兩個為功能性解釋，最後一個也就是整段，屬於一個機制性解釋。

再如上面引用文句的下一段：

> 以生活在加拉巴哥群島上的鷽（鷾）鳥為例，生活在不同小島上的鷽鳥，其祖先最早都來自南美洲大陸，由於每個小島的環境不同，鷽鳥容易攝取的食物種類也有所差異，久而久之，生活在不同小島上的鷽鳥便分別演化出適合攝取不同食物的嘴型，以獲取更佳的生存機會。（國漢版，p54）

以第一句「以生活在加拉巴哥群島上的鷽（鷾）鳥為例」為首的整段文字，屬於一個實證（例證）解釋，不過是在說明上一段（也就是之前的引文內容）。本段待說明的現象為「鷽鳥便分別演化出適合攝取不同食物的嘴型」，而這現象有兩個解釋，第一個為「由於每個小島…，久而久之，」，這是一個機制性解釋，成分（環境、鷽鳥、食物）和成分的活動（如鷽鳥攝取食物）最後造成了現象：「鷽鳥嘴型不同」。第二個解釋為：「以獲取更佳的生存機會」，這是一個功能性解釋，因為用現象本身（鷽鳥的嘴型不同）帶來的利益（更佳的生存機會），說明該現象的成因。因此本段落出現三個解釋，實證、機制性、功能性，但待解釋的現象只有一個。

（三） 各版本編碼數量的比較

經過上述所詳列的編碼方式，為各版本演化論專章的文字敘述做出編碼。各編碼數量的結果如表 4-1-2 所示。表 4-1-2 的上方欄位，代表各個解釋類型，縱

軸除版本名稱之外，再區分成演化全章與演化學說一節，分別標示為「全章」、「機制」。欄位中每一數字代表類型的數量，刮號起來的則代表該類型所佔的比率。例如國漢版演化專章的課文文字中，總計可分析出 59 個類型量，其中功能性解釋類型的敘述佔了 3 個，比例為 5%；而國漢版中，討論演化學說的專節（3-1 演化的學說），總計可分析出 18 的分析單位，其中功能性解釋類型的敘述佔了 3 個，比例為 17%；底下將分別各版本相同及異同點做出比較。

1、 共同趨勢

高中的演化課文內容，不論字數、句數，都比國中多得多，因此解釋數量自然比較多。教科書編撰者，寫法的不同，也會使得不同教科書有不同數量的解釋段落，例如國教版的演化篇幅較小，其解釋數量也雖之而少。

各版本整個演化章節的文字敘述中，可歸屬在科學解釋者，都以機制性解釋較多；可歸屬在促進理解之解釋者，以實證（舉例）較多；可歸屬在非解釋類者，則以事實描述的比率最高。在演化理論專節裏，機制性解釋和實證依舊是較高者，但在非解釋中，則出現差異，有些版本較多「科學史」類型（國楠與高融、高楠），有些版本以「事實描述」為主，只有高康版以定義為主。

2、 三種大類的比較

若將課文的正文內容，分成「科學解釋」「促進理解解釋」、「無解釋純描述」

三大類來看，高中版本以第三類「無解釋」為主，不論是演化專章或是演化論單節。而國中版本則「科學解釋」、「無解釋」普遍較多，除了國康版演化專章的「促進理解解釋」佔了 26%，略勝「科學解釋」的 17%一籌之外。

科學解釋類型述說的是「現象」加上「起因」，促進理解解釋是「一個事實」加上「促進理解這個事實的敘述」，但「無解釋純描述」只呈現「事實」，而不去「探討成因」，也不考慮讀者是否理解。這顯示出若以「探討現象成因」、「令讀者易於理解內容」、「純知識傳授」三點來作為教科書的目的或重點的話，教科書編寫方式，似乎比較著重在「知識的傳授」，也就是科學知識的傳達，告訴讀者有哪些知識，要去記得哪些內容，似乎不在強調「探討」：了解什麼原因導致現象發生，也不太以讀者能理解書本內容為重點。

當然，也或許有的事實描述比較簡單，不太需要「促進解釋」的文句，來加以說明，這也可能造成「促進理解」數量較少的原因

3、 演化專章與演化理論專節的比較

演化論專章中，包括演化學說專節（演化機制）和演化的證據、演化史等非演化專節。筆者認為在演化專節會出現較高比率的「科學解釋」，因為演化機制便是在描述演化的起因。結果顯示果真是如此，各版本的演化機制內容部分的科學解釋類型比率，除了高楠版相當之外，都高過演化專章。

筆者另一個原有假設是，演化專章中只有機制一節常有另有概念難以移除的

討論，顯見演化機制較難以學習，如此課文當中「促進理解的解釋」應該也比起演化專章而言，有較高的比率。不過，除了國楠版演化機制的促進理解的解釋量20%，高於全章的 10%之外，其餘沒有明顯差別。

表 4-1-2 各版本演化論課文專章之解釋類型分析

		科學解釋			促進理解之解釋				非解釋				總合
		功能	機制	通則	實證	形上	擬人	類比	定義	程序	科史	事實	
國漢	全章機制	3 (5) 22 (37)	19 (32)	0 (0)	10 (17) 10 (17)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (7) 27 (46)	0 (0)	2 (3)	21 (36)	59
		3 (18) 7 (42)	4 (24)	0 (0)	2 (12) 2 (12)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (12) 8 (48)	0 (0)	2 (12)	4 (24)	17
國楠	全章機制	1 (2) 17 (33)	16 (31)	0 (0)	4 (8) 5 (10)	0 (0)	0 (0)	1 (2)	3 (6) 29 (57)	1 (2)	3 (6)	22 (43)	51
		1 (7) 6 (40)	5 (33)	0 (0)	2 (13) 3 (20)	0 (0)	0 (0)	1 (7)	2 (13) 6 (40)	0 (0)	3 (20)	1 (7)	15
國教	全章機制	0 (0) 9 (25)	8 (22)	1 (3)	6 (16) 6 (16)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (5) 22 (59)	1 (3)	1 (3)	18 (49)	37
		0 (0) 4 (44)	3 (33)	1 (11)	0 (0) 0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (22) 5 (55)	0 (0)	1 (11)	2 (22)	9
國康	全章機	0 (0) 9 (17)	8 (15)	1 (2)	14 (26) 14 (26)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (9) 30 (56)	0 (0)	1 (2)	24 (45)	53
		0	6	1	3	0	0	0	3	0	1	6	20

制	(0)	(30)	(5)	(15)	(0)	(0)	(0)	(15)	(0)	(5)	(30)	
		7			3				10			
		(35)			(15)				(50)			

續表 4-1-2

		科學解釋			促進理解之解釋				非解釋				總合
		功能	機制	通則	實證	形上	擬人	類比	定義	程序	科史	事實	
高融	全章	2 (1)	24 (17)	0 (0)	25 (17)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	21 (15)	0 (0)	17 (12)	54 (38)	143
		26 (18)			25 (17)				92 (65)				
	機制	1 (2)	15 (26)	0 (0)	5 (9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	12 (21)	0 (0)	15 (26)	10 (17)	58
		16 (28)			5 (9)				37 (64)				
高楠	全章	1 (1)	20 (16)	1 (1)	20 (16)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	16 (13)	0 (0)	22 (18)	44 (35)	125
		22 (18)			21 (17)				82 (66)				
	機制	0 (0)	8 (17)	0 (0)	8 (17)	0 (0)	1 (2)	0 (0)	6 (13)	0 (0)	20 (43)	3 (7)	46
		8 (17)			9 (19)				29 (63)				
高康	全章	2 (1)	28 (18)	0 (0)	39 (25)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	21 (13)	1 (1)	14 (9)	50 (32)	156
		30 (19)			40 (26)				86 (55)				
	機制	1 (2)	15 (28)	0 (0)	12 (23)	0 (0)	0 (0)	1 (2)	12 (23)	0 (0)	9 (17)	3 (6)	53
		16 (30)			13 (25)				24 (46)				

4、 三種科學解釋類型

不論是哪一種版本，演化專章或演化機制，三類型的科學解釋類型中，機制

性解釋佔的比例都最高，這符合文獻探討所指：生物科學各領域，其內的因果解釋通常包含著機制的描述(Tabery , 2004 ; Darden , 2002 ; Machamer *et al.* , 2000)。通則性解釋的比例低，也符合生物哲學家對生物學科本質的討論（ Sterelny & Griffiths，1999)。

不過，筆者原先假設生物課本當中會有許多功能性解釋，而這可能是拉馬克另有概念迷思難以移除之因。這種想法不被這次的結果所支持，各版本功能性解釋的量都很低，除了國漢版之外。

國漢版是所有版本中，包括最多功能性解釋者，在演化論單節中，功能性解釋佔了 18%，而在演化專章中，佔了 5%。這主要是因為教科書編寫者的寫法，常有「為了…所以…」的寫法，例如：「為了物種的延續，生物繁殖數目會比真正存活的後代為多」(p52)；「為了生存及延續後代，生物之間必須競爭食物、生活空間及繁殖的機會」(p52)，這兩段敘述都是以現象的好處（用意）來說明現象的產生，故為功能性解釋。但其他版本少見「為了」兩字，有因此功能性解釋的比例較少。

5、 促進理解的解釋

前文提過，促進理解的解釋是三大類型中最少的，這顯示教科書並不以讀者理解課文提供的敘述為主要目標。而這一類別中，幾乎都是實證（舉例說明)。

舉例說明其實有二種，一種是前文所討論的舉出實例，如

有時人類會依據不同的需要，培育出各種適合人類利用的物種，例如：金魚、乳牛和水稻等。（國漢版，p55）

但其實還有一種，表達方式不同，比較像是推理，例如

再者，短吻鱷分佈在我國長江流域及美國東南部，木蘭科植物則同時分佈在亞洲東部及美國東部，…。故由化石以及目前分佈現況的比對研究可以了解生物之演化過程。（高楠版，p217）

這種寫法是先呈現一些事實之後，再歸納出一套理論，亦即由事實推論出一段敘述，在本論文的定義中，證據不算是現象的起因，故這一類型解釋仍屬促進理解解釋是作者希望筆者能了解「待解釋項」（由化石以及目前…演化過程）。

6、 非解釋

不像「科學解釋」或「促進理解解釋」類別，各版本有著類似的解釋類型比率。非解釋類別中各類型的不同，較能呈現出各版本敘述手法的差異，例如各版本演化專章中，以「事實陳述」佔的比率最高，而演化論專節中，則不一定，國楠版的「科學史」佔了 20%，「事實陳述」只佔了 7%。相同情形也出現在高融與高楠版的演化論專節中，不過高康版卻是以「名詞定義」（23%）為主。

以上的資料顯示了，各版本在整個演化專章當中，看起來的寫法相同，但這是非演化學說部分，如演化證據、演化史所造成。若深入分析演化學說那一節，

可以看到在「非解釋」部分，有些版本會以「科學史」的內容為主，有些版本以「事實陳述」為主，有些則是「名詞定義」比率較高。不過在「非解釋」部分雖有不同，但在科學解釋以及促進理解的解釋中，各版本卻是差不多。

7、 對同一概念，不同版本的敘述方式

筆者對於「解釋」與「非解釋」的分類，以及各「解釋類型」的不同，可以看出不同版本教科書對同一現象的不同敘述方式。例如以下兩段都在說明鷺鳥嘴型不同的原因：

如果某一島上的食物以種子為大多數，則鳥喙厚短的鷺鳥較鳥喙細長者易於攝食，而能生存下來；經過長時間的演化，島上就多為鳥喙形狀厚短的鷺鳥。（國康版，p57）

由於每個小島環境不同，鷺鳥容易攝取的食物種類也有所差異，久而久之，生活在不同小島上的鷺鳥便分別演化出適合攝取不同食物的嘴型，以獲取更佳的生存機會。（國漢版，p54）

國康版中提到現象的產生，來自於鳥（成分）的嘴型（其成分特性）及攝食（活動），最後造成島上鳥都嘴短（現象）的發生，筆者將之編碼成機制性解釋。而後一段國漢版雖有類似機制的說法，但卻沒有明顯提到成分、成分特性、成分活動與現象產生的變動關係，而是以最後一句話「獲取更佳的生存機會」，有就是該現象的好處來說明現象的產生，因此分類成功能性解釋。

8、 教科書的名詞定義

名詞定義雖非解釋，但有其必要性，因為可以用簡短幾個字，表徵一連串的事件、現象，或一個複雜的理論，因此在學術研究上，有簡化溝通、減少認知負荷的重要性。教科書具有高度的文本權威，無論國民小學或中學，教室活動中絕大部份的活動仍是和教科書相關的講述、考試、問答、和作業（周珮儀，2002）。因此教科書中的文字敘述，尤其是做為與學術研究討論溝通橋樑的名詞定義，必須要審慎而不應有混淆之處。

但筆者發現教科書在名詞定義上，尚有待改進之處，例如高楠版對「生物演化」的定義，在第 199 頁：「生物演化是指物種會隨時間而變化的現象」；但在第 205 頁：「所謂生物演化就是指親代與子代的基因頻率發生變化」這兩個定義其實都沒有錯，只是後者屬近代的想法，但文中並未對此兩定義加以並列討論，在無教師的協助之下，恐怕學生會產生「那生物演化到底是什麼？」的混淆。

另如前文也提過高康版，對於天擇說、演化論、生存競爭等名詞有混用的情況，做為一本有廣大讀者且有權威的著作而言，似乎不應該。筆者在撰寫本文之際，新的教科書演化部分（九五課綱高三下），應仍在撰寫並準備送審中，盼望新的教科書應減少這些疏忽。

三、複雜系統特性分析

本分析的結果來自第參章所示之教科書研究對象裡，文字敘述中具複雜系統

特性者，所謂複雜系統特性，來自文獻探討中所整理出，如表 3-6-2。結果發現，各版本在演化專章中的正文敘述裡，少有引用到筆者所定義的複雜系統特性，只有少部分版本的部分內容中有所提及，由於數量不多，因此筆者將所有發現到具複雜系統特性的文字，皆列入表 4-1-3 中。不過如表 3-6-2 所提的複雜系統特性之一：「多層次」並未納入分析中，主要原因是該特性非複雜系統所獨有，任一解釋當中，至少都會包含現象及成分兩層次，故不納入。

由表 4-1-3 可見在七個版本的演化專章中，一共只能找出 12 個內含複雜系統特性的敘述。例如在國楠版第 3 章第 2 節第 3 個主題，在該版第 56 頁，有一段文字：「生存下來的個體也不一定都是最能適應環境者，在許多情況下，也可以是逃過意外傷害的「幸運者」生存下來。」，筆者認為其內含「多因子互動」特性，因為本段話透露出，決定生存與否的因素，不僅是「適應者」與「環境」兩因子間的互動，還包括了「機率」等因子。再如高楠版第 14 章第 3 節，在該版的第 230 頁，提到「現代人類的演化可說包含了兩個層次： 為生物演化，一為文化演化…人類是唯一可了解自身基因結構且試圖修正的動物，這對人類的演化會如何，有待我們進一步去探討。」筆者認為這一段落包含兩個含複雜系統特性的描述，一是「多因子互動」，人類的演化除受基因遺傳影響外，也受知識文化遺傳的影響；二是「下向因果」：由基因（低層次）組成的人類（高層次），反過頭來改變低層次的基因。

總計這 12 個敘述中，有 3 個含「多因子互動」特性，3 個含「動態、不停

止」特性，4 個含「突現、不可預測」特性，1 個含「無中央控制」特性，1 個含「下向因果」特性。主要用於描述「地球生物史」(編碼 2、3、4、9),「突變的方向」(編碼 5、6、12),「人類的演化機制」(編碼 7、10、11),「天擇機制及其補充」(編碼 1、8) 等四個主題。

國中版本只有國楠版、國教版內含複雜系統特性的描述，且集中在「地球生物史」與「天擇機制與補充」(編碼 1、2、3、4)。高中版本則各版本皆有含複雜特性的描述，不過高康版只有在「突變的方向」這一主題上有涉及。

表 4-1-3 各版本演化專章中，含複雜系統特性的文字敘述

編號	版本	章節	頁碼	分析段落（內文）	複雜特性	判斷依據
1	國楠	3-2-3	56	生存下來的個體也不一定都是最能適應環境者，在許多情況下，也可以是逃過意外傷害的「幸運者」生存下來。	多因子互動	並非「適應環境」一項因子決定生存與否
2		3-3-0	59	地球在交織著基因突變與環境篩選的場景中，不斷上演生命緣起緣滅的戲碼。	動態、不停止	因子互動不停止
3		3-3-3	64	當我們回顧這出生命的演化史時，生命的出現與存在，真是一種奇蹟，多麼令人珍惜。	突現不可預測	「奇蹟」一詞，有不可預測的意涵
4	國教	9-5	100	幾十億年來，地球環境一直在變動，而生物的種類也不斷在演化。地球的生命舞臺，重複的上演著滅絕與繁衍的戲碼，也一此行程多采多姿的生命	動態、不停止	因子互動不停止

				世界。		
5	高融	14-1-3	188	基因發生突變是隨機的，並無特殊目的。	無中央控制	突變的發生，不受某主導者控制，不因應特定目的而生
6				任何一個基因在任何時候都可能發生突變。也就是說，突變發生並不一定增加適應的能力，或者對個體有利，也可能產生有害的結果。	突現不可預測	突變造成的結果不可預測
7		14-3-2	208	人類演化不能單純以天擇來解釋，因其具有「文化遺傳」: …不僅基因和染色體可遺傳，技能、知識也可遺傳。…「改變環境」: …人類卻能改變環境以適應寒冷….	多因子互動	除基因和環境之外，有其他的因子影響演化現象

續表 4-1-3

8	高楠	14-1	204	…由此可見「天擇」是一種動態的作用過程，依時間、環境而有所不同	動態、不停止	因子的互動不停止
9		14-2	219	化石的形成與發現是一連串的巧合所形成	突現、不可預測	「連串巧合」一詞，有不可預測的意涵
10 11		14-3	230	現代人類的演化可說包含了兩個層次： 為生物演化，一為文化演化…人類是唯一可了解自身基因結構且試圖修正的動物，這對人類的演化會如何，有待我們進一步去探討。	多因子互動 下向因果	人類（高層次）會去影響基因（低層次）
12	高康	14-1	212	…如逢環境改變，在不同的天擇條件下，原本有害的突變可能就變成有利的突變。	突現、不可預測	突變造成的結果不可預測

為何複雜系統特性描述，集中在特定主題呢？筆者認為這與概念本身的解釋本體有關，依 Chi 歷年的研究主軸：不同現象屬不同的概念本體，必須各用特定

的方法如直接因果或突現因果來說明其機制。延伸 Chi 的想法，可以解答此問題，因為只有部分概念屬複雜系統特性，只有它們才能被內含複雜系統特性的敘述來說明。或許演化專章裏的概念，只有上述的四個主題屬「複雜特性」本體，其他主題不屬此一本體，因此只有極少數的描述含複雜特性。

但同一概念主題，每個版本的描述方法不盡相同，例如：同樣的人類的演化機制，高楠版和高融版都提到多因子互動：「基因遺傳」和「文化遺傳」，高楠版另外也提到了人類可改造基因。但高康版裡，對此一主題的描述是：

> 幼體可分享祖先代代所累積下來的經驗和知識…，人類營造高速公路…的知識，並不是由遺傳基因 DNA 傳遞給下一代，而是由雙親、學校、教師、圖書、最近還由電腦，一代一代累積並傳遞下來。…人類數百萬年來，曾經和其他動植物一樣，在天擇的支配下，為求生存而適應環境。但現代人的科技反而能改變環境，且改變的速率，遠超過許多生物所能適應的速度。20 世紀中，地球所滅絕的物種數，比過去 10 萬年中所絕滅的物種的平均數還大 50 倍。

高康版同樣有文化遺傳的描述，但其並未明顯的把文化遺傳與人類的演化的關係作因果連結。中間有一句「現代人的科技反而能改變環境」，看似下句可以討論到科技與人類演化的關係，結果後段卻接上：「使得物種滅絕增加」。這段話雖然可以說明人類科技會影響其他生物演化，但非人類科技會影響人類演化的下

向因果複雜系統特性描述。

因此，同一主體或現象，可以有不同的解釋方式，Chi 指出：人們心中常有直接因果的本體，因此對於有「突現因果」本體的現象成因，在概念改變上常出現來自本體難以跨越的困難。筆者則擴充 Chi 的想法認為：的確不同現象可能分屬不同的本體，某些現象一定要用特定的機制來說明，但同一現象也可用不同的解釋本體，來解釋現象的特定層面，如前文討論過的以「功能性解釋」或「機制性解釋」來說明演化現象，不過人們心中會偏好某種特定的解釋本體，例如習慣用「功能性解釋」來看「機制性解釋」的問題。同樣的，對於同一現象的說明，教科書編寫者，可能會偏好特定的解釋方式。以前例的「人類演化現象」，高融版和高楠版會把「文化遺傳」來作為人類演化機制的一部分，亦即用「文化遺傳」來解釋「人類演化」，而高康版則不採用此一機制來解釋人類演化。

因此，除了現象本身所屬的解釋本體，解釋現象者偏好的解釋方式，也會影響解釋的呈現。「演化機制」在 Chi 的分類裡，屬於突現因果機制，照 Chi 的分類，演化的專章裏所使用的說明，含複雜系統特性的敘述應該很多，實際上卻不然，這可能便是教科書編寫者對複雜系統特性不熟悉或不偏好，不熟悉之因則可能與複雜系統是一門新興認識論有關（Waldrop，1992）。

Auyang（1998）則將影響演化的因子區分出三類：決定論（deterministic）包括固定重複的突變、遷移與最重要的「天擇」；可推測的變動（stachastic）包

括突變率、遷移率的波動和基因漂變；單一事件（unique event）如隕石的撞擊。以此定義，所謂達爾文的單因子天擇，便是只考慮「決定論」因子，所謂多因子天擇，就是同時考慮這三項，後兩項其實有差異，因為「單一事件」比起可推測的變動而言，有極大的不確定性，代表著「機率」的影響。由 Auyang 的分法來看各版本的差異，可發現事實上，只有國楠版強調了這個機率因素（表 4-1-3 編號 1），其他高中版本的複雜特性僅及「可推測變動」該項。

第二節　測驗題量化分析

為討論不同修訂版本教科書，轉成教材之後，進行實際教學的成效差異，本研究進行了三組教學：解釋組（E 組）、複雜組（C 組）以及解釋暨複雜組（EC 組），並以測驗題（如第三章所述）檢定以下兩項：各組學生組內前後測的差異，不同組學生在後測時的組間差異。以下將依序討論兩種檢定的結果。

一、各組前後測比較

本段首先探討各組組內前後測的比較，由於測驗題選項的設計中，選擇題的答案可分成三類型：目的論想法、單因子天擇、多因子天擇。由前章研究方法的說明中，可知這三個類型的答案中，唯有「目的論想法」屬於錯誤，「單因子天擇」與「多因子天擇」皆屬正確，只是「多因子天擇」屬於最適當的答案，因為選擇此一類型者，暗示著有考慮到「機率」、「不可預測」、「多因子互動」等影響演化的因子。因此，在評比受測者進步之時，可以有以下幾種判定方式：

一是觀察後測時「目的論想法」（即錯誤選項）的量是否有顯著的減少，此方式等同於觀察後測時「正確答案」（「單因子天擇」加上「多因子天擇」）的量是否有顯著的增加。

二是觀察最適當答案：「多因子天擇」的量，在後測時是否有顯著的增加。

三是將兩種正確答案「單因子天擇」與「多因子天擇」依其正確性，給予不同的加權，觀察受測者在後測時，分數是否有顯著的增加。

本段即根據以上三種評比方式，分別討論不同組學生，組內表現前後測的差異情形。

（一）各組正確答案量前後測差異

高、國中兩大組，各三個操作組，一共六組分別以 ANOVA 分析並以 Bonferroni 進行事後比較的結果發現，國中的結果如表 4-2-1 所示：國中解釋組（國 E，以下同）和國中複雜組（國 C，以下同），雖然後測的正確答案數都高於前測，但沒有顯著差異。國中複雜與解釋雙重融入組（國 EC）則是後測成績明顯比前測進步。表示若不區分「多因子天擇」與「單因子天擇」的不同（兩者都屬於正確答案），國 EC 組的教學成效是明顯的。

表 4-2-1 國、高中前後測正確表現差異比較

組別	前後測	N	Mean	SD	Mean dif.	Sig.
國 E	前測	28	9.54	1.934	1.286	1.000
	後測		10.68	2.736		
國 C	前測	33	9.24	2.488	1.333	.087
	後測		11.21	2.781		
國 EC	前測	34	8.85	2.584	3.118**	.001
	後測		11.50	3.107		
高 E	前測	33	9.91	2.454	2.061	.052
	後測		11.97	2.08		
高 C	前測	38	11.47	2.669	2.132*	.013
	後測		13.61	2.273		
高 EC	前測	34	10.68	2.085	3.471***	.000
	後測		14.15	2.231		

* p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

高中組的結果亦如表 4-2-1 所示：雖然三組的後測成績都高於前測，但高中解釋組（高 E，以下同）沒有顯著差異，而高中複雜組（高 C，以下同），與高中複雜與解釋雙重融入組（高 EC）則是後測成績明顯比前測進步。表示若不區

分「多因子天擇」與「單因子天擇」的不同（兩者都屬於正確答案），高 EC 組和高 C 組的教學成效是明顯的。

若將國、高中各組前後測正確答案平均數量整合，可得圖 4-2-1，雖然六個前後測比較中只有國 EC、高 C、高 EC 有著顯著差異，但整體上的趨勢有二：國中比高中成績為差，這點與預期相符，因為本研究中的國中與高中學生相差三歲，有年齡、先備知識、閱讀能力等等的不同。另外後測成績普遍都有比前測為高的趨勢，當然有可能是因測量時發生的試題效應，但也有可能是教學上的確有正面的成效。

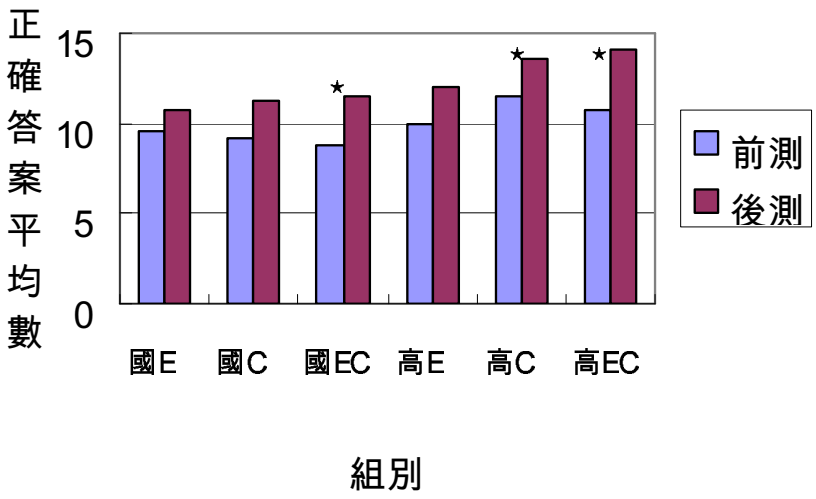


圖 4-2-1 高國中各組前後測正確答案數平均值比較（*表有顯著差異）

（二） 各組多因子答案量前後測差異

雖然上一段的結果呈現了後測時正確答案的量，在某些組別有明顯的進步，但筆者想進一步探討的是，在經過教學之後，學生回答出最適當答案：「多因子

天擇」的數量上，是否有明顯的增加。依各組教學的設計，解釋組因為未強調演化中「複雜」的特性，也就是未強調「多因子互動」等觀念，理論上「多因子天擇」的答案量不應有明顯改變，而複雜組和雙重融入組則因為有強調「多因子互動」、「突現」等複雜特性，選取「多因子天擇」的數量在後測時應有明顯增加。因此有必要比較各組前後測「多因子天擇」答案量的改變情形，以進一步確定教學成效。經分別以 ANOVA 分析各組差異並以 Bonferroni 法進行事後比較，國中受測者的表現如表 4-2-2 所示：雖然三組後測的「多因子天擇」答案數都高於前測，但只有國 EC 具有顯著差異。與原先的預期比較起來，國 C 組的結果不符預期，而國 E 和國 EC 的結果符合預期。

高中受測者的表現如表 4-2-2 所示，高 EC 和高 C 在後測時，「多因子天擇」的選項，都有比前測有明顯的增加情形。而高 E 組雖然平均數量有上昇，但未達顯著差異。高中組這一部分的調查結果顯示，教材中融入「複雜」特性之後，的確使得學生在判斷演化的發生機制時，能夠得到「多因子互動」、「突現」、「不可預測」的複雜系統觀，這可從高 EC 和高 C 兩組的明顯進步可知。

表 4-2-2 國、高中前後測多因子答案表現差異

組別	前後測	N	Mean	SD	Mean dif.	Sig.
國 E	前測	28	3.86	1.758	1.286	1.000
	後測		5.14	2.289		
國 C	前測	33	4.30	2.114	1.333	1.000
	後測		5.64	3.210		
國 EC	前測	34	4.03	1.642	3.118***	.000
	後測		7.15	3.509		
高 E	前測	33	5.94	2.474	1.182	1.000
	後測		7.12	2.073		
高 C	前測	38	7.42	3.037	2.605**	.001
	後測		10.03	3.132		
高 EC	前測	34	6.47	1.813	4.088***	.000
	後測		10.56	2.688		

* p<.05 ; ** p<.01 ; *** p<.001

若將國、高中各組前後測選取多因子答案的平均數量整合起來，可得圖 4-2-2，和前一個分析中前後測正確答案數的結果相同，六個前後測比較中都是國 EC、高 C、高 EC 有著顯著差異。但如表 4-2-4 所示，高 C 在「多因子」答案

數進步的顯著程度（p=.001）大於表 4-2-2 所示，高 C 組在正確答案進步的顯著程度（p=.013）。這代表著高 C 在正確答案（多因子加上單因子等兩個選項總和）的進步主要來自「多因子」答案量進步的貢獻。也因此或許有必要檢驗一下，各組在單因子答案量的變化。

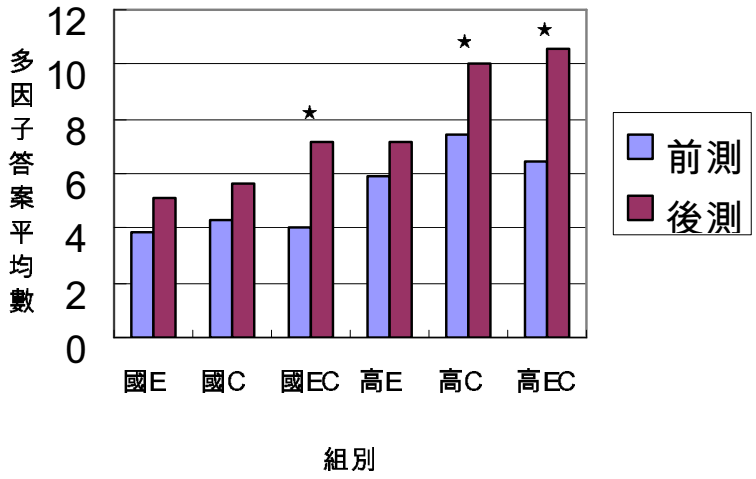


圖 4-2-2 高國中各組前後測「多因子」答案數量平均值比較（*表有顯著差異）

（三） 各組單因子答案量前後測差異

承上段的討論，可知不論是正確答案數量、多因子答案量，國 EC 和高 C、高 EC 的前後測都有顯著差異，而且由高 C 組在這兩種評比的比較，顯見其正確答案數量的進步，主要是來自多因子答案量增加的關係。如此，也屬於正確答案的「單因子」選項，是否亦有進步呢？表 4-2-3 顯示了國中、高中各組單因子答案量的差異，可以發現不論國高中的哪一組，其「單因子」答案量的前後測，都沒有顯著差異。顯見前兩小節所討論的國 EC、高 C、高 EC 三組前後測間正確答案的進步，的確都來自於「多因子」答案量的進步。原本預期國 E 和高 E 這兩組，因為沒有在教學操作中得到「複雜」的概念，所以若是教學有成效，應該會在「單因子」答案量上有顯著進步，不過如表所示，結果與預期不符，因此也不難理解為何高 E 與國 E 在正確答案上，前後測並沒有差異。

表 4-2-3 國、高中各組前後測單因子答案表現差異

組別	前後測	N	Mean	SD	Mean dif.	Sig.
國 E	前測	28	5.68	1.634	-0.143	1.000
	後測		5.54	1.892		
國 C	前測	33	4.94	1.767	0.636	1.000
	後測		5.58	1.959		

國 EC	前測	34	4.82	1.961	-0.471	1.000
	後測		4.35	1.921		
高 E	前測	33	3.97	1.630	0.879	1.000
	後測		4.85	1.856		
高 C	前測	38	4.05	1.723	-0.474	1.000
	後測		3.58	1.687		
高 EC	前測	34	4.21	1.473	-0.425	1.000
	後測		3.59	1.459		

（四） 各組正確答案加權前後測表現差異

由於測驗題選項中的「多因子」與「單因子」兩選項，雖皆屬正確答案，但依本論文的探討，兩者的正確性有別，「多因子」選項因為考量了演化本身是個複雜系統機制的特性，而屬更為正確的答案。因此本處將兩種答案予以不同的權重，來計算其分數。兩者的正確程度其實難以量化區隔，筆者以強制方式給予多因子兩倍於單因子的加權，因此所謂的正確答案加權，相等於（多因子答案數）* 2 加上（單因子答案數）。

依表 4-2-4 所顯示的結果，符合前三小節的討論，只有國 EC、高 C、高 EC 有顯著的進步，而這三組正確答案之進步，來自學生在後測作答時，主要選取筆者所歸類的「多因子」選項。

表 4-2-4 國、高中各組前後測正確加權（多因子 * 2 + 單因子）表現

組別	前後測	N	Mean	SD	Mean dif.	Sig.
國 E	前測	28	13.39	.626	2.429	1.000
	後測		15.82	.883		
國 C	前測	33	13.55	.743	3.303	.320
	後測		16.85	.988		
國 EC	前測	34	12.88	.662	5.765***	.000
	後測		18.65	1.088		
高 E	前測	33	15.85	.810	3.242	.375
	後測		19.09	.633		
高 C	前測	38	18.89	.884	4.737**	.001
	後測		23.63	.845		
高 EC	前測	34	17.15	.621	7.559***	.000
	後測		24.71	.809		

** p<.01 ; *** p<.001

二、不同組別後測的比較

雖然筆者所施測的學校，無論國、高中在入學時都採取常態編班，理論上各班素質應差不多，但筆者實際操作時間為該學年度的下學期，換言之，各個班級

的導師經營、同學相處已有半年的時間，也因此各班班風與學習動機其實都有著差異，每個班上在進入本論文的操作前，有可能已有演化概念上的差異，因此要做各組間比較時，必須採用 ANCOVA。本研究以前測時的分數（即單因子答案數加上多因子答案數）作為共變量，比較各組在後測時正確答案數、多因子答案數與單因子答案數的差異。由於國中、高中有明顯發展上的差異，因此在比較時，是分成國、高中兩大組分頭比較，底下兩小節將分別討論這兩大組組間的差異情形。

（一）國中各組組間比較

迴歸同質性考驗結果顯示，以前測正確分數為共變量，後測正確分數為依變量時，組間迴歸的 F 值為 2.353，顯著性為 0.101，未達顯著水準，迴歸係數具同質性。因此可進行共變數分析，而得表 4-2-5，結果顯示出在排除前測正確分數的影響之後，國中三個教學組組間的後測，在正確答案表現上並無顯著性差異（F=0.732，P>0.05）。

表 4-2-5 以前測正確分數為共變數，比較國中各組後測正確答案表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
國 E	28	10.664	.732	.484
國 C	33	11.177		

國 EC	34	11.546

另以前測正確分數為共變量，後測正確加權表現（多因子 * 2 + 單因子 * 1）為依變量時做比較，迴歸同質性考驗顯示迴歸係數具同質性（組間迴歸的 F 值為 1.848，顯著性為 0.164，未達顯著水準），因此可進行共變數分析。表 4-2-6 結果顯示了共變數分析的結果，可看出在排除前測正確分數的影響之後，國中三個教學組組間的後測，在「正確加權表現」數量上，並無顯著性差異（F=2.312，P>0.05），

表 4-2-6 以前測正確分數為共變數，比較國中各組後測正確加權表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
國 E	28	15.833	2.312	.105
國 C	33	16.694		
國 EC	34	18.751		

再以前測正確分數為共變量，後測多因子答案數為依變量時做比較，迴歸同質性考驗顯示迴歸係數具同質性（組間迴歸的 F 值為 1.121，顯著性為 0.330，未達顯著水準），因此可進行共變數分析。表 4-2-7 結果顯示了共變數分析的結果，可看出在排除前測正確分數的影響之後，國中三個教學組組間的後測，在「多因子答案」數量上，有著顯著性差異（F=4.039，P<0.05）。

由於出現組間差異，因此進行事後比較（Bonferroni 法），結果如表 4-2-8，

顯示此差異來自國 EC 與國 E 之間的差異，這一點符合研究的預期，由於國 CE 比起國 E 在教學中，得到了複雜系統觀的概念，因此多因子答案量較多。但同樣的狀況卻未出現在同樣接受複雜系統教學的國 C 組，國 C 與國 E 在此項比較上未有明顯差異（雖然國 C 比國 E 平均答案量多了 0.421)。

表 4-2-7 以前測正確分數為共變數，比較國中各組後測多因子答案表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
國 E	28	5.146	4.039*	.021
國 C	33	5.567		
國 EC	34	7.203		

* p<.05

表 4-2-8 國中各組後測多因子答案表現差異的事後比較

比較組別	Mean difference	SD	Sig.
國 C-國 E	.421	.786	1.000
國 EC-國 C	1.635	.748	.0940
國 EC-國 E	2.056*	.781	.0300

* p<.05

最後再以前測正確分數為共變量，後測單因子答案數為依變量時做比較，迴歸同質性考驗顯示迴歸係數具同質性(組間迴歸的 F 值為 0.393，顯著性為 0.676，未達顯著水準)，因此可進行共變數分析。表 4-2-9 結果顯示了共變數分析的結

果，可看出在排除前測正確分數的影響之後，國中三個教學組組間的後測，在「單因子答案」數量上，有著顯著性差異（F=4.193，P<0.05）。

由於出現組間差異，因此進行事後比較（Bonferroni 法），結果如表 4-2-10，顯示此差異來自國 EC 與國 C 之間的差異，國 CE 在此評比上的分數比起國 C 平均少了 1.223 個答案，顯著性為 0.035，P<0.05，有著顯著差異。對照正確答案數，兩組並沒差異（表 4-2-5），表示國 EC 組比起國 C 組，同樣是答對題目，但是國 EC 組選的是較正確的「多因子」答案，而國 C 則選了較多「單因子」答案。

另外，國 EC 和國 E 之間在「單因子」表現上，同樣的國 EC 組的答案量遠低於國 E 組（減少 1.183 個答案），雖然未達顯著差異，但顯著性達 0.057，十分接近顯著差異。此處同樣反應出在三組正確答案量無差異的情況下，國 EC 組應是比國 E 組選了較多「多因子」答案（表 4-2-8），因此「單因子」答案量，自然比較少。

表 4-2-9 以前測正確分數為共變數，比較國中各組後測單因子答案表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
國 E	28	5.54	4.193*	.018
國 C	33	5.58		
國 EC	34	4.35		

* p<.05

表 4-2-10 國中各組後測單因子答案表現差異的事後比較

比較組別	Mean difference	SD	Sig.
國 C-國 E	.04	.499	1.000
國 EC-國 C	-1.223*	.475	.035
國 EC-國 E	-1.183	.496	.057

* p<.05

國中各組組間比較的討論

承之上的表 4-2-5 到表 4-2-10，可以整理出以下幾點：

1、後測正確答案量（多因子 + 單因子），各組組間沒有差異。

2、後測正確答案加權（多因子 * 2 + 單因子），各組之間沒有差異。

3、後測多因子答案量有差異，此差異來自於國 EC 組明顯高於國 E 組。這項結果符合預期，因為國 EC 組和國 E 組的差別，便在於前者具有「複雜系統」教學。

4、後測單因子答案量有差異，此差異主要來自國 C 組明顯比國 EC 組來得多，原因可能在於國 EC 組比起國 C 組，選了較多的「多因子」答案（雖無顯著差異），而使得單因子選項的答案顯著變少。國 EC 組的「單因子」答案量也比國 E 少很多，幾達顯著差異。同樣的，在兩組「正確答案」數無差異的情況下，多因子部分國 EC 若比國 E 多，自然單因子部分國 EC 會比國 E 來得少

（五） 高中各組組間比較

以高中各組前測正確答案數為共變量，後測正確答案數為依變量時做比較，迴歸同質性考驗顯示迴歸係數具同質性（組間迴歸的 F 值為 1.229，顯著性為 0.297，未達顯著水準），因此可進行共變數分析。表 4-2-11 結果顯示了共變數分析的結果，可看出在排除前測正確分數的影響之後，高中三個教學組組間的後測，在「正確答案」數量上，有著顯著性差異（F=8.471，P<0.001）。

由於出現組間差異，因此進行事後比較（Bonferroni 法），結果如表 4-2-12，顯示此差異最主要來自高 EC 與高 E 之間的差異（P<0.001），其他兩組間的比較，高 EC 優於高 C，高 C 優於高 E，但皆未達顯著差異。高 EC 顯著優於高 E 的結果符合研究的預期，可以歸因到高 CE 比起高 E 在教學中，多得到了複雜系統觀的概念。

表 4-2-11 以前測正確分數為共變數，比較高中各組後測正確答案表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
高 E	33	12.151	8.471***	.000
高 C	38	13.249		
高 EC	34	14.171		

*** p<.001

表 4-2-12 高中各組後測正確答案表現差異的事後比較

比較組別	Mean difference	SD	Sig.
高 C-高 E	1.098	.487	.079
高 EC-高 C	.922	.470	.157
高 EC-高 E	2.020***	.491	.000

*** p<.001

另以高中各組前測正確答案數為共變量，後測正確加權表現（多因子答案數*2+單因子答案數）為依變量時做比較，迴歸同質性考驗顯示迴歸係數具同質性（組間迴歸的 F 值為 2.018，顯著性為 0.138，未達顯著水準），因此可進行共變數分析。表 4-2-13 結果顯示了共變數分析的結果，可看出在排除前測正確分數的影響之後，高中三個教學組組間的後測，在「正確加權」的表現上，有著顯著性差異（F=13.779，P<0.001）。

由於出現組間差異，因此進行事後比較（Bonferroni 法），結果如表 4-2-14，顯示此差異最主要來自兩方面：一是高 EC 顯著優於高 E（P<0.001），二是高 C 顯著優於高 E（P<0.01）。而另一組間比較：高 EC 與高 C 之間並沒有顯著差異。

這個結果顯示了，一旦我們把最正確的答案：「多因子」予以加權，凸顯其重要時，便可看出「複雜系統」融入演化課程的教學效果，同樣具有複雜系統觀融入教學的高 C 和高 EC，優於無複雜系統觀融入教學的高 E，顯見高 EC 和高 C 學生的確在教學後擁有更多的「多因子天擇」的概念。而高 EC 和高 C 兩者間因同樣有複雜系統教學，所以學生在加重「多因子」的分數上，的確不應有差異。但為進一步看出「多因子」答案的差異，應進一步對此標的進行分析比較。

表 4-2-13 以前測正確分數為共變數，比較高中各組後測正確加權表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
高 E	33	19.09	13.779***	.000
高 C	38	23.63		
高 EC	34	24.71		

*** p<.001

表 4-2-14 高中各組後測正確加權表現差異的事後比較

比較組別	Mean difference	SD	Sig.
高 C- 高 E	3.428**	1.024	.003
高 EC-	1.947	.987	.154

高 C			
高 EC-高 E	5.375***	1.032	.000

** p<.01 ; *** p<.001

以高中各組前測正確答案數為共變量，後測多因子答案數為依變量時做比較，迴歸同質性考驗顯示迴歸係數具同質性（組間迴歸的 F 值為 2.327，顯著性為 0.103，未達顯著水準），因此可進行共變數分析。表 4-2-15 結果顯示了共變數分析的結果，可看出在排除前測正確分數的影響之後，高中三個教學組組間的後測，在「正確答案」數量上，有著顯著性差異（F=14.707，P<0.001）。

由於出現組間差異，因此進行事後比較（Bonferroni 法），結果如表 4-2-16，顯示此差異最主要來自兩方面：一是高 EC 顯著優於高 E（P<0.001），二是高 C 顯著優於高 E（P<0.01）。而另一組間比較：高 EC 與高 C 之間並沒有顯著差異。這個結果與正確加權的結果（表 4-2-14）相同，同樣顯示了：「複雜系統」融入演化課程的教學效果，同樣具有複雜系統觀融入教學的高 C 和高 EC，的確優於無複雜系統觀融入教學的高 E，高 EC 和高 C 學生在教學後擁有更多的「多因子天擇」的概念。而高 EC 和高 C 兩者間因同樣有複雜系統教學，所以學生在加重「多因子」的分數上，的確沒有差異。

表 4-2-15 以前測正確分數為共變數，比較高中各組後測多因子答案表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
高 E	33	.446	14.707***	.000
高 C	38	.415		
高 EC	34	.422		

*** p<.001

表 4-2-16 高中各組後測多因子答案表現差異的事後比較

比較組別	Mean difference	SD	Sig.
高 C-高 E	2.245**	.609	.001
高 EC-高 C	1.027	.592	.257
高 EC-高 E	3.271***	.614	.000

** p<.01 ; *** p<.001

比較 4-2-16 與 4-2-12 可發現高 E 和高 C 在正確答案上沒有差異，但在多因子答案上出現差異，高 C 優於高 E。此結果應表示在後測時，高 E 應該有比高 C 組有更多的「單因子」答案。因此可針對後測時「單因子」答案量，進行組間比較。如表 4-2-17 所示，的確組間具有差異(F=5.614 , P<0.01)。事後比較發現(表

4-2-18），高 EC 和高 C 都比高 E 有顯著的短少（P 皆小於 0.05），這個結果可能再度顯示「複雜系統」教學的效果，兩個有進行複雜系統融入課程的高 EC 和高 C，在後測時，針對每一個單選題，選出的最佳答案，皆能考慮到「多因子天擇」的觀念，而高 E 組雖然也選了正確答案，但卻以「單因子天擇」為多。

表 4-2-17 以前測正確分數為共變數，比較高中各組後測單因子答案表現差異

組別	N	Mean	F	Sig.
高 E	33	4.82	5.614**	.005
高 C	38	3.58		
高 EC	34	3.59		

** p<.01

表 4-2-18 高中各組後測單因子答案表現差異的事後比較

比較組別	Mean difference	SD	Sig.
高 C-高 E	-1.192*	.410	.014
高 EC-高 C	-.018	.399	1.000
高 EC-	-1.208*	.410	.012

高 E

* p<.05

高中各組組間比較的討論

承之上的表 4-2-11 到表 4-2-18，可以整理出以下幾點：

1、後測正確答案量（多因子 + 單因子），高 EC 明顯優於高 E。高 EC 雖高於高 C，但兩者之間沒明顯差異，高 C 雖高於高 E，但兩者之間沒明顯差異。這顯示在本研究高中演化教學裡，將解釋類型和複雜系統兩種要點，同時融入於演化學時效果最佳。

2、但若強調多因子答案的正確性優於單因子，而把後測正確答案加權（多因子 * 2 + 單因子）時，高 EC 雖高於高 C，但兩者之間沒明顯差異，高 EC、高 C 兩組皆明顯優於高 E。這顯示複雜系統融入的教學，會比單純解釋融入來得好。顯見複雜系統融入教學的確有讓學生學到更多演化屬於複雜系統機制的概念。

3、後測多因子答案量有差異，高 EC 雖高於高 C，但兩者之間沒明顯差異，高 EC、高 C 兩組皆明顯優於高 E。這個結果符合預期，因為高 EC 和高 C 皆比高 E 有著「複雜系統」教學。

4、後測單因子答案量有差異，來自高 EC 和高 C 皆明顯比高 E 來得少。這個

結果也符合預期，高 E 未學到複雜系統理多因子的概念，而高 C 和高 EC 皆能避開選擇題選項中，較不正確的「單因子天擇」答案的誘惑。

（六） 本節小結

總和表 4-2-1 到 4-2-18 所顯示的結果，及其相關的討論。從量的分析上，我們似乎得到底下一些輪廓：

1、 EC 組的教學效果最佳

不論是高中一年級學生或國中七年級學生，接受解釋類型和複雜系統兩要點融入的 EC 組，都比單純一個要點融入的複雜組（C 組）和解釋類型組（E 組），在學習效果上要好得多。這可從以下幾個數據看出：

1、各組組內前後測「正確答案量」、「多因子答案量」、「正確答案加權」比較中，國 EC 與高 EC 都有顯著的進步。其他各組中，只有高 C 有顯著進步。

2、國中各組組間後測共變數比較中，在「多因子答案量」上，國 EC 明顯高於國 E。

3、國中各組組間後測共變數比較中，在「單因子答案量」上，國 EC 明顯高於國 C。

4、高中各組組間後測共變數比較中，在「正確答案量」、「多因子答案量」、「正

高

確答案加權」上，高 EC 皆明顯高於高 E。高 EC 和高 C 之間雖無顯著差異，但高 C 只有在「多因子答案量」、「正確答案量」兩項高於高 E。

2、 C 組比 E 組佳

上面第 4 點的分析：高中各組組間後測共變數，在「正確答案量」、「多因子答案量」、「正確答案加權」上，高 EC 和高 C 之間無顯著差異，而高 C 只有在「多因子答案量」、「正確答案量」兩項高於高 E。

因此扣除進步最大的 EC 組，單以 E 組和 C 組比較，可看出 C 組教學可使學生在測驗題表現較 C 組為佳。不過這只是用於高中組，國 E 和國 C 之間沒有差異。

3、 高中生學習效果較佳

三組的改良教材進行教學後，高中生學習成效，明顯的比使用同一份教材的國中生學習成效，進步較多。可從以下幾個數據看出：

1、除去單因子答案量不談，組內前後測的比較中，國中組只有國 EC 在各項評比中有顯著進步。

2、但高中組中的高 EC 和高 C 在各項評比中有顯著進步，而高 E 在「正確答案量」上也幾乎達到顯著進步（$p = 0.052$）

4、 複雜系統融入教學，可讓學生在後測時選取較多「多因子」選項

有 4 組：高 EC、高 C、國 EC、國 C 的教學中，融入了複雜系統的特性，因此理論上這 4 組學生應該在其後測當中會選出更多的「多因子」選項，結果證實的確如此：

1、各組組內前後測「多因子答案量」的比較：高 EC、高 C、國 EC 三組都比前測顯著為多。

2、高中各組組間後測共變數比較中，在「多因子答案量」量上，雖國 C 和無複雜系統教學的國 E 無明顯差異，但國 EC 顯著高於國 E。而高中部份，高 EC 和高 C 都顯著優於高 E 組。

5、 解釋類型融入的助益

雖然只有解釋類型融入的國 E 和高 E 教學效果較不明顯，但應也並非完全無益，例如增加融入此一要點的高 EC，表現得就比無解釋類型融入的高 C 來得好。

根據量的分析，雖可做出上述的推論，但若要更深入比較各教學材料的教學效果，或許要進入到下面幾節有關學生晤談的分析，才能更進一步了解。

第三節　以演化概念層級與模式探討學生演化的另有概念

為更深入了解學生在教學前所具有的演化概念，以及在本研究所設計的教學操作之後，學生的概念改變情形。本節承第參章所提出的研究方法，如第四節研究工具中的第四大點「晤談問卷」的設計，及第六節晤談資料的分析。首先將說明學生各種概念模式層級（表 3-5-4~表 3-5-6）實際應用於晤談分析的情況，另也要以另一種表徵，也就是第參章所示的演化概念模式（表 3-5-7）來呈現晤談分析所得的結果。本節將以晤談所得的資料為例子，詳細介紹本研究所定義的演化概念層級與概念模式。

一、演化概念層級與模式

正如第參章研究方法所示，筆者將學生對演化的理解情形，分成三個層級，每個層級各有幾種正確程度不同的次層級，這是一種不同於其他演化教育相關研究的分析方式，大部分的研究都將學生的演化另有概念以類別說明而未分層（Shtulman，2006；荏家續，2007；陳藍萍，2004；劉誠宗，2003）。因此在本論文中，有必要詳細討論這種演化概念階層，及其用於評估學生演化概念研究的實際應用情況。

表 4-3-1 把九個層級整理成一表，可看出模式代號 A 代表完全沒有演化概

念，不知道生物會演化。模式代號 B、C 表雖知道有演化現象，但完全說不出機制。D、E、F 代表能說出演化知道演化現象，也能說出機制，但都是錯誤的機制解釋。G、H、I 表沒有錯誤的演化機制觀，但有可能不完整（G），能說出完整解釋者，依其考量的演化因素和演化定向與否，在區分成單因子天擇（H）與多因子天擇（I）。底下將配合晤談資料，再次討論這些演化層級，包括三個大層級與其次層級的意義。並為不同的概念模式製作模式圖，以簡單易懂的了解每個學生的演化概念為何。

表 4-3-1 演化概念的九個層級

演化概念模式 簡稱		無演化	宿命	無演化機制	環境刺激	用進廢退	混合	不完整天擇	單因子天擇	多因子天擇
模式代號		A	B	C	D	E	F	G	H	I
演化概念層級	第一層	一- 0	一- 1	一- 1	一- 1	一- 1	一- 1	一- 1	一- 1	一- 1
	第二層	無	二- 0	二- 1	二- 1	二- 1	二- 1	二- 1	二- 1	二- 2
	第三層		無	三- 0	三- 1	三- 2	三- 3	三- 4*	三- 4	三- 5

（一）第一層級：生物會不會在跨世代間發生改變

此一層級：生物會不會在跨世代間發生改變，可以用此層級偵測到學生能不能意識到生物演化的發生。所謂的改變指的是跨世代間的改變，若是單一個體本身的改變，例如：曬到陽光皮膚變黑，水分缺乏以致變乾。甚至若是外力影響導致跨世代間的不同，例如水分越來越少，導致子代葉子越來越乾。則不屬於這一層級中所謂的「改變」。若發現學生不具有「生物會在跨世代間發生改變」的想法，則暗示著兩種可能：一是學生沒有意識到自然界中具有演化現象，或是以非性狀改變的方式來解答適應問題。二是學生具有創造論的心智模式。若學生具有「生物會在跨世代間發生改變」，則便可進一步追問到第二層級，亦即生物改變

的方向。在本層級，受測者可能有兩種反應：不變（編碼為 0）、會變（編碼為 1）。

1、 編碼一 –0：生物不會在跨世代間發生改變

結果顯示，在所有接受前測晤談的有效樣本中（高中 24 人、國中 25 人），只有國中 3 人無法意識到「生物會在跨世代間發生改變」，如 706pre07 的晤談資料：

筆者（以下簡稱 T）：好！首先我們進行第一題，你覺得它的下一代跟它的親代會有不一樣的地方嗎？

受訪者（本段受訪者為 706pre07，以下簡稱 706pre07）：沒有

T：第一代沒有．．．好！那經過幾年後呢？

706pre07：幾年．．．

T：幾年就是經過好幾代了，像曾子、曾孫的那種感覺，它的曾孫跟它的祖先有沒有不一樣？

706pre07： 嗯．．．沒有

T：還是一樣，好！那千年後呢？

706pre07：不知道

由上文 706pre07 的回答加底線的部分，可看出該生明顯無法指出子代與親代有可能會有不同，因此將其編碼為：一 –0。

另一名編碼為一 –0 的學生：701pre04 的訪談資料如下，雖然該生的回答曾

有「不一樣」一詞，但其應指的是個體在不同生長而導致的差異，因為筆者進一步追問未來幾年的變化時，學生回答「不知道」，顯示該生並未意識到跨世代間可能出現的演化現象。

T：好，現在我把這個本來是完全一樣的植物兩株，放在乾熱、冷濕兩種是不同的地方，好，一年之後它死掉了，跟它結的種子，那個叫做下一代，那個下一代會怎樣？就有沒有變化？

701pre04：應該是一樣。

T： 應該是一樣？

701pre04：就是比較冷熱兩種嘛！

T：對對對！

701pre04：應該會有一些變化

T：怎麼說？

701pre04：它的溫度不一樣，不太一樣

T：環境不同，植物會怎麼樣？

701pre04：就有一些不太一樣的變化

T：我們就以乾熱來講，它會怎麼樣？

701pre04：乾熱的話，不知道

T：不知道？

701pre04：對

T：那…那你怎麼說他不一樣呢？

701pre04：恩…..同一種東西可能種在不同的那個溫度下面應該是不一樣，會有一些些變化

T：喔，會有一些些變化，但是你不能確定那個變化是什麼？哪一種？

701pre04：恩

T：好，那….經過幾年之後呢？

701pre04：經…？

T：兩邊之後會有怎麼不一樣？

701pre04：就…….不知道

T：不知道？

701pre04：不知道

T：想不出來？

701pre04：想不出來

T：那題目對你來講蠻難的

701pre04：恩

T：很簡單，這個答對答錯都無所謂的！所以經過幾千年後呢？

701pre04：不知道

701pre04 和 706pre07 兩位，因為不具有「生物會誇世代演變」的概念，依第參章第六節表 3-6-7 所圖示的概念模式圖，屬於代號 A 的概念模式，本研究將

之表徵成圖 4-3-1。

圖 4-3-1 不具演變概念的概念模式（A）

2、 編碼一 –1：生物會在跨世代間發生改變

前測時所有的高中生以及 88%的國中生（22/25），以及後測時所有的晤談受訪者，都具備「生物會在跨世代間發生改變」的想法，以下舉一例說明編碼的判定：

T：嗯對，只能活一年沒有錯，非常好。…好，現在把本來完完全全一模一樣的植物，放在乾熱、濕冷不同環境，然後一年之後它死掉，但是它結了種，那就叫它的下一代，那個種子呢會怎麼樣？會有甚麼變化？

107pre27：應該…就是根、莖、葉的地方應該會有改變，會…會就是去改變，基因可能會突變，然後來適應那個…新的氣候。

姑且不論是否植物下一代就會發生改變，但能意識到生物會改變，便可編碼為一- 1，筆者可做出如此肯定的分類，也是因為其另說了「來適應那個新的氣

候」，既然知道演化的意義，當然一定知道演化的存在。

3、 小結

第一層級檢驗的是學生對於演化概念最基本的認識，也就是有沒有意識到演化現象，知不知道演化的存在。結果顯示國中七年級學生和高中一年級生，絕大多數都能知道「生物會演變」，即使少數的兩位沒有「生物會演變」的概念，他們應也非受創造論的影響，純粹只是沒有觀察或學習到此一現象的存在。

如果受訪者不知道「演化」的存在，則接下來的演化的方向，以及演化的機制，就不需繼續追問，換言之，下段要討論的第二層級，必須建立在第一層級編碼一 -1 的基礎上。

（二） 第二層級：生物演變的方向

當確定受測者知道生物會演變之後，接下來可到第二層級：演變方向的評估。這有三種次層級，第一為宿命論看法，亦即雖然有演變發生，但這是按照某種外部既定的程序、日程規律出現，不是因為環境的改變，因應環境的需求而改變（編碼二 -0），例如「不管過去發生何事，人類終究會在地球上出現」這種說法。第二種指功能性看法，生物會依據環境需求而朝特定功能需求地定向改變（編碼二 -1），例如「生長在乾熱環境下的植物，會演變成針狀葉，以減少水分散失」這種說法。第三種則加入複雜系統不可預測的特性，即雖然生物會依據

環境需求而變，但這種改變並非定向，而是可能不定向，亦即生物也有可能無法依環境需求而演變導致絕種，或是生物採用其他策略以彌補環境改變的劣勢（編碼二 －2），例如「把植物放在乾旱處，其子孫可能演化出針狀葉，而適合在此生存，但也可能無法朝此方向發展因而絕跡」這種說法。

1、 編碼二 －0：依既定的宿命而改變

所有高中受訪者以及具「生物會演變」概念的 23 位國中生之中，只有兩位在前測時，表現出「宿命論」的想法，以 710pre15 的晤談資料為例，710pre15 認定即使在恐龍是恐怖掠食者的情況下，別的動物依舊會演變成人類，而人類出現後又會被恐龍吃掉，這種想法，筆者認為有明顯的宿命論想法，而且這兩位受訪者並未在前兩大題晤談題中，顯露出擁有「生物會依功能需求而演化」的想法，故編碼成二 －0。這種依既定宿命而變的概念模式，依表 3-6-7 所圖示的概念模式圖，屬於代號 B 的概念模式，本研究將之表徵成圖 4-3-2。

Ｔ：如果當年那顆隕石要是沒撞地球，現在你是外星人，你從外星看地球，看到地球生物的景觀，會有什麼樣的景觀？就是會看到什麼東西？

710pre15：恐龍還會在。

Ｔ：那人類會出現嘛？

710pre15：人類喔．．．我覺得應該會出現，但是會被肉食性恐龍吃掉！

Ｔ：那到底是會不會出現？會出現但是會被吃？

710pre15：所以就應該都沒有人．．．

Ｔ：所以人類還是會出現但是會被吃掉．．．人類為什麼能夠出現？

710pre15：演變！動物演變人！

Ｔ：動物演變成人類．．．那所以一演變出來的人類就被恐龍吃掉？

710pre15：嗯！對！

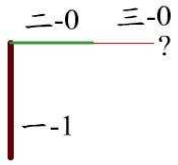


圖 4-3-2 依宿命而演變的概念模式圖（B）

在教學之後的晤談後測顯示，這兩位原本帶有「生物有宿命演變」想法的國中學生，也改為「生物依功能需求而演化」，也就是由編碼二 - 0 進步到二 - 1。

2、 編碼二 – 1：依功能需求而因應環境改變

幾乎所有的高中受訪者在前測時（23/24），大部分國中受訪者在前測時（19/23），在第二層級的概念都隸屬此類。也就是能意識到生物會朝著功能性需求，以對抗環境的壓力而演變。同樣在此引用一例加以說明，例如 701pre05 在回答原本基因完全相同的一群植物，分別放在乾熱、冷濕地方生長，會分別演化

成適應該地區生長的不同植物。明顯的是以功能取向來決定演化方向，故屬於編碼二 – 1。

T：一年的壽命，好，現在把這些本來是相同的植物放在乾熱冷濕兩種不同的環境中，然後一年後它死掉了，可是它下一代長大起來會有什麼不一樣？

701pre05：如果放在比較乾的地方可能會發展出那種針葉型態的那種葉子，然後如果放在比較濕的話，可能會比較大…大片比較厚一點，然後．．．經過數年後（兩處的植物）可能就會演化成完全不一樣的，雖然是同一種，但是是外表卻不一樣的植物，然後數千年後，可能會分別變成兩種不一樣的植物，是同科之類，但以後不一樣。

晤談後測顯示，原有的未達此一次層級的國中生，包含原有只有編碼一 – 0 的三位學生以及原先只有二 – 0 的兩位學生，一共五位，在經過教學之後，不論是哪一操作組，都能至少進步到此一次層級。

3、 編碼二 - 2：依功能需求而因應環境的不定向改變

此一次層級代表的是受訪者能有「生物會依功能需求而因應環境改變，但受到多因子互動的影響，這些演變不一定會實現，因此難以預測實際上會如何變」和編碼二 – 0、編碼二 – 1，不同的是，後兩種有定向演變的意識在內，而編碼二 – 2 則代表擁有演化是定向或不定向演變的看法（參見第貳章）。可以用以下晤談資料（晤談資料代號：701post38）進一步說明：

T：(植物)不會有多大的變化，那千年後呢？

701post38：會有變化可是不是大，可是應該會有變化吧！然後就可能可能‥可能喔就只是可能，說不定不一定喔（二-2）。乾熱的地方就變成比較適合放在乾熱的地方，冷濕的地方就變成比較適合冷濕的地方（二-1），就只是可能而已（二-2）。

T：可能對可能之一，那比較乾比較濕的地方，就比如說他長怎樣？

701post38：乾熱的地方就可能像仙人掌啊！（二-1）

T：嗯，像仙人掌

701post38：他的可能因為應該不會有那麼大的改變，我是…他可能就是是莖肥厚或地下根會變大，然後葉子可能變小。

T：你剛才說可能可能嘛！那表示說還有其他可能，其他有什麼可能？

701post38：就可能可能他就是就是完全不適應啊，然後就沒有沒有…突變沒有改變，然後‥就還是一樣死掉了（二-2）

此段訪談資料中，可看出 701post38 除了有生物會依功能需求而演變的可能外（乾熱的地方就可能像仙人掌啊！），也有這種功能取向的演變不一定可以達成的想法，由底下兩段話語紀錄可知：可能喔就只是可能，說不定不一定喔。以及就可能可能他就是就是完全不適應啊，然後就沒有沒有…突變沒有改變，然後‥就還是一樣死掉了）

在前測時有只有一位高中受訪者，其生物演變方向的想法可歸類於此，比例

甚低（1/24），而七年級學生在前測時則無人歸類於此，後測之後有部分的國中生與高中生可以進步到此一次層級。這個部分留待下一節，各組晤談前後測比較時，再加以詳細討論。

4、 小結

由前測晤談的結果看出，國中七年級和高中一年級學生的「生物會朝何方向演化」的概念，大部分屬於「依功能需求，隨環境演變而演變」（編碼二 -1），少部分未達此一次層級者，經過教學，也很容易達成。但幾乎少有學生在本實驗教學前，即具有編碼二 –2 非定向演化的想法，即使在教學之後，也只有部分學生擁有之，至於何種教學內容，較能夠使得學生進步到編碼二 –2，留至下一節各組前、後測比較，再行討論之。

筆者亦發現，擁有編碼二 –2 想法的學生，在考量演化機制時，也會有「多因子互動」等看法，這也是其與隸屬編碼二 –1 的受訪者一個很大的差別。換言之，在評估學生屬於編碼二 –1 或是編碼二 –2 之時，可一併討論其在「演化機制」的想法為何？也就是下一小段將要討論處。

（三） 第三層級：演化的機制

本層級探討的是為何演化能夠進行？也就是演化的機制，要了解受訪者對演化機制的想法，首先需確定學生具有「生物會演變」（編碼一 –1）的想法，配

合著第二層級「生物會朝何方向演變」，可進一步評估受訪者對於「演化如何進行？」的想法。在此一層級可區分出以下幾個次層級（詳見第參章第六節資料分析）：編碼三 －0：無機制想法；編碼三 －1：環境刺激論，認為個體會受環境刺激而直接變化；編碼三 －2：拉馬克的用進廢退；編碼三 －3：混合型，亦即同時具有拉馬克、環境刺激及一部分天擇說的想法；編碼三 －4：單因子天擇，即簡化的達爾文天擇觀；編碼三 －5：複雜系統。同樣的，底下將以各次層級為論述單位，以學生晤談資料為範例，依序介紹各次層級的編碼界定。

1、 編碼三 －0：無機制想法

具宿命論想法（編碼二 -0）者，以及雖有「依功能取向而演變」（編碼二 -1）但說不出如何達成演變者，會被評定成此一次層級。底下舉一晤談資料為例（710pre40）：

Ｔ：那它為什麼會能夠結構改變？

710pre40：要適應環境

Ｔ：嗯，那為什麼能夠做到？

710pre40：嗯…因為…因為它為了要繁衍下一代，如果一直維持同樣的一種方式，它可能會被大自然淘汰。（三-0）

Ｔ：嗯，所以它怎麼弄出別的方式？

710pre40：嗯…像仙人掌它的葉子會萎縮成針狀（二- 1）

．．．

Ｔ：好，那在乾熱的會變成什麼樣？

710pre40：乾熱喔…可能會變的就是細長，就是比較小隻，就沒有，比如說，如果說原本的植物可能有１０公分高的話，那它現在可能會萎縮變成５公分

Ｔ：為什麼要萎縮啊？

710pre40：減少水分蒸發（二-１）

Ｔ：再問你怎麼做到的？為什麼葉子能夠整個萎縮掉？

710pre40：為什麼會萎縮喔…嗯…（三-0）

Ｔ：沒有想過這問題？

710pre40：沒有（三-0）

由代號 710pre40 的晤談資料結果可知，該生擁有生物會依功能需求而演變的想法（乾熱環境，要長成仙人掌樣子，以減少水分蒸發），但是要問之如何去適應環境時，可看出學生毫無機制的觀念（只能說出：「如果一直維持同樣的一種方式，它可能會被大自然淘汰。」）因此歸類於編碼三 －0：無機制想法。編碼於此者，依表 3-6-7 所圖示的概念模式圖，屬於代號 C 的概念模式，本研究將之表徵成圖 4-3-3。

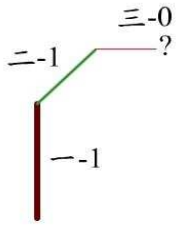


圖 4-3-3 無演化機制概念的概念模式圖（C）

前測晤談之後發現，若包含隸屬編碼一 –0、二 –0 的學生在內，不具演化機制概念的國中生，占參與晤談者的 72%（18/25）。換言之，能說出機制的國中生，不論其機制說法對或錯誤，只佔了 28%（7/25）。相對的高中生在前測時，則只有 4 位完全說不出演化機制，有 83%（20/24）可以說出演化機制（不管對或錯）。

經過教學之後的後測，只剩三位國中生和一位高中生仍無法說出演化機制。不過雖然學生在後測時能說出機制，但有許多學生的機制概念不完備，或是仍屬錯誤。每位學生改變的情形，留待下一節討論，而何謂錯誤機制或何謂機制不完備，則在接下來的次層級中加以討論。

2、 編碼三 –1：環境刺激論

具有此一次層級觀念者，會認為生物的演變，是因為受到環境的刺激使得身體自然地發生改變，底下以 706pre15 和 710pre38 的晤談資料為例：

Ｔ：為什麼要像仙人掌那樣？

706pre15：因為．．．要減少水份散失。

Ｔ：那你可以說明為什麼它能夠變成仙人掌那樣？

706pre15：才能比較適應乾熱的環境。

Ｔ：那為什麼能變？

706pre15：因為．．．比較．．．乾熱的環境．．．刺激它的生長素．．．來演變成那樣。（三-１）

另外：

Ｔ：你剛剛一開始時就有提到，就葉子為什麼本來那麼大嘛，後來又慢慢變小，在乾的環境，它怎麼做到的？

710pre38：應該是因為環境，所以造成基因上的改變，所以越變越小。（三-1）

706pre15 和 710pre38 的機制想法，明顯表現出是因為環境刺激到身體的某些部位，因而造成型態改變，故評為編碼三 －1。編碼於此者，依表 3-6-7 所圖示的概念模式圖，屬於代號 D 的概念模式，本研究將之表徵成圖 4-3-4。

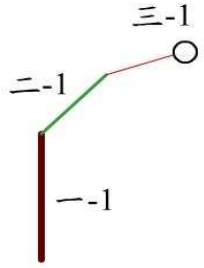


圖 4-3-4 環境刺激論的概念模式圖（D）

值得一提的是，在筆者第一次提到「植物為何能變成仙人掌那樣時，學生會忽略這個問題中對「演化機制」解釋的要求，而以「演化功能」的解釋的答案來回應。直到筆者第二次追問時，才會以「機制」的角度來回答。這種答非所問的狀況，其實與 Abrams 和 Southland（2001）的研究結果相符。

在前測時，能說出機制想法的 7 位國中生，有兩位屬於這一種，就是上面舉例的兩人：706pre15 和 710pre38。具有此一機制想法的高一學生通常另具備一些天擇說想法，故歸類於待會會討論到的「混合型」。另有一名國中生（710pre21）亦有「環境刺激論」想法，不過 710pre21 同時也具有「用進廢退」的想法。

3、 編碼三 –2：用進廢退說

雖然有些研究將「環境導致基因改變」等也歸類於用進廢退說想法，但筆者於本研究中，區分開這兩種機制。在筆者的界定裡，前段所提的「環境刺激導致改變」屬於生物體被動被環境所改變，而「用進廢退說」屬於生物體內有某種不知名的潛力，而使得個體可以因應環境主動的調整改變。例如以同時具有「環境決定」、「用進廢退」兩種機制想法的 710pre21 的晤談資料為例：

問題：冰河時期的大象演化

T：嗯嗯嗯嗯嗯．．．能禦寒．．．長出長毛的原因是．．為什麼要長出長毛？

710pre21：就是．．．它為了適應．．．它為了要生存下去

T：嗯嗯嗯嗯

710pre21：繁衍下一代

T：怎麼長出來的？為什麼毛會變越來越長？

710pre21: 可能原本就有一點點了吧！然後就是．．．就是可能外面就是寒冷嘛！所以它就刺激它，假如這個母大象．．她就是已經有那個懷孕了然後它．．就是那個長．．．那個孵．．那個．．小象可能它長出來就受到環境的那個刺激（三-1）

T：嗯嗯嗯嗯嗯

710pre21：然後毛會長的比其他那個多

問題：乾熱地區植物的演化

T：嗯！為什麼本來葉子大會來慢慢會變小

710pre21：可能是它就是．．因為水分散失嘛

T：嗯嗯

710pre21：然後就它發現了之後它就．．．可能應該是原本長得比較大的葉子可能枯掉．．．.（三-2）

T：嗯嗯嗯

710pre21：然後會長出比較小的然後那就是．．．長到某一個適合的時候它就不再長了！（三-2）

710pre21 在回答「冰河時期大象的演化」問題時，提到「小象在母象肚子裡，被刺激到因而長毛」，屬於「環境刺激論」的機制想法。而在「乾旱地區植物的演化」問題裡，他的回答有出現「它發現了之後它就．．．」，有主動的意思，因此歸類為「用進廢退說」的機制觀。擁有此類機制想法者，依表 3-6-7 所圖示的概念模式圖，屬於代號 E 的概念模式，本研究將之表徵成圖 4-3-5。

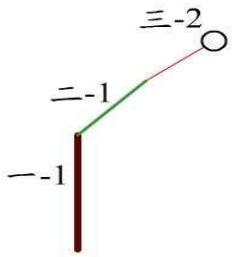


圖 4-3-5 用進廢退的概念模式圖（E）

前測時，有 3 位國中生擁有此「用進廢退」機制觀（若把 710pre21 算在內，則有 4 位），占擁有機制觀的 7 位國一生將近一半比例（3/7）。總計 25 位接受前測晤談的國中生，發現最後只剩 1 位能超越編碼三 –2 此次層級，而擁有部分的天擇想法，占所有學生的 4%。高中生則有 3 位採用「用進廢退」的機制觀，占 12.5%，但這並不表示高中生的演化機制概念都很正確，因為有許多人，其實擁有的是混合用進廢退、天擇說部分要點的混合型機制觀。

4、 編碼：三 –3：混合型

所謂的混合型，指的是雖然受訪者能指出天擇說的部分要點：諸如突變造成變異、適者生存等。但亦被偵測出其具有用進廢退或是環境刺激的機制觀，凡具有此混合想法者，則歸類於此次層級。例如 108pre13 的晤談資料：

晤談題一：

T：為什麼要長的像仙人掌？

108pre13：因為葉子比較小蒸發量會比較少，可以保持水分

T：本來他們的基因不是相同嗎，那為什麼要變成不同的植物？

108pre13：可能在過程中產生了些微的差距，因為她們也算是有性生殖（三-4-2）

T： 有性生殖造成的，那。。。經過千年後，這些植物會如何？

108pre13：那就完全變成葉子比較小的（三-4-6 單）

T：那。。。葉子會變的越來越細嗎？

108pre13：應該是按照當時的狀況，應該是不會變的越來越細

T：。。。本來葉子是寬的要怎麼變成細的？一下子變的很細，還是慢慢變的？

108pre13：慢慢變的很細

T：怎麼變細？

108pre13：就一代比一代細

T：怎麼做到的？

108pre13：有不同的基因（三-4-1），比較細的就適合生存，比較粗的就不容易生存（三-4-5），細的就會越來越多（三-4-4）

晤談題二

T：中期（經過酷寒的冰河時期數百年）？

108pre13：人類可能就會演化出一些防寒的東西吧，會越來越胖之類的，就是皮下脂肪越來越厚，禦寒

T：怎麼越來越厚？

108pre13：比較適應環境的人類，就會生出下一代

T：就是皮下脂肪越厚的人類？

108pre13：。。。應該是有一些基因，如果沒有的話，那應該就是，會吃的比較胖之類的

T：那其他生物呢？

108pre13：應該也是吧

T：也是如何？

108pre13：就是皮下脂肪越來越厚，可以禦寒

T：皮下脂肪越來越厚，可以禦寒，她們怎麼弄出來的？

108pre13：就是吃的越來越胖，下一代就會有那個基因（三-1）

T：那下一代為什麼會有那個基因？

108pre13：。。。不知道。。。可能為了要生存就吃的越來越多，基因就刪掉了（三-2）

108pre13 在回答晤談題一時，提出的解釋，如：「有不同的基因（三-4-1），

比較細的就適合生存，比較粗的就不容易生存（三-4-5），細的就會越來越多（三-4-4）。」符合一些天擇說的要點，如「變異」、「適者生存」（下一段將討論），但在回答第二題時，卻又說出「吃的越來越胖，下一代就會有那個基因」這種環境刺激的機制想法，也說出「可能為了要生存就吃的越來越多，基因就刪掉了」這種內在主動改變的用進廢退說法。該生同時擁有部分天擇觀念、及用進廢退、環境刺激的機制觀，因此歸類於此次一層級。編碼於此者，依表 3-6-7 所圖示的概念模式圖，屬於代號 F 的概念模式，圖 4-3-6 指的是 108pre13 所擁有的混合型概念模式，該生擁有部分的天擇要點概念，但仍具備用進廢退等錯誤機制觀念，因此屬三 －3，本圖可看出 108pre13 只缺編碼三 －4 -3（空白處）的天擇要點概念。

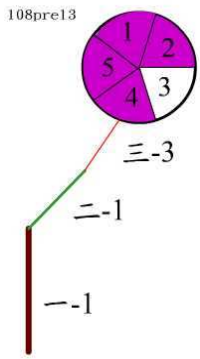


圖 4-3-6 108pre13 的混合型概念模式圖（F）

其他的混合型的例子還有 10631 的後測晤談資料，10631 在第一句回答中有用進廢退的想法，但在第二句回答中，又出現了個別差異、環境選擇等天擇要件

的想法 。

Ｔ：葉子怎麼會基因突變？它因為不好所以就基因突變？

10631：不是不好…就是如果不好的話是沒有關係，然後如果有傷害自己的話它就…才會突變。有傷害到自己，就是那個沒有作用的器官然後傷害到自己，就是會引起來攻擊的那種，容易受傷的話就突變掉。

Ｔ：所以…突變是有需要我們才突變對不對？

10631：不一定，有時候有可能會自然突變，然後…然後有突變就是…有變成，就是…能適應環境跟不能適應環境的，不能適應環境就淘汰。

前測結果發現，唯一一位擁有部分天擇概念的國中生（701pre34），其實也擁有用進廢退的想法，故屬於此型。因此，在所有的 25 位接受前測晤談的國中生，沒有一位擁有正確的機制觀。而 20 位擁有演化機制觀的高中生，有 8 位屬於混合型，占 40%。高中總體而言，純粹具用進廢退想法的有 3 位，及無機制觀的有 4 位，加上混合型的 8 位等算是具不正確的演化機制觀念。因此，24 位接受訪談的高中生裡，也只有 9 位擁有正確的演化機制觀，僅佔 37%。這個發現其實與諸多討論演化概念難以學習的文獻相符。同時,這 37%的學生雖未表現出「用進廢退」等錯誤的演化機制觀，但也可能無法完整說出天擇說的幾項要點。這點如底下編碼三 – 4 討論。

5、 編碼：三 －4：單因子天擇觀

正如第參章第六節所示，天擇說可以區分成六個要點：(１) 個別差異、(２) 個別差異產生之因、(３) 隨機突變、(４) 先天性狀才可遺傳、(５) 族群遺傳、(６) 多因子選擇等六個細部要件，若學生能正確提到這六個細部要件，則完整度最高，可編碼至下一小節將要討論的「多因子天擇」的次層級：三 －5。若能提及(１)至(５)等 5 個細部要件，但未提及(６)，則屬編碼三 －4 的「單因子天擇」。若未提及或擁有錯誤的細部要件觀念(如突變朝特定方向發生)則表概念完整度不足。會被歸類到不完整的三 －4。底下先呈現一些研究所得的晤談資料，以說明歸類的判斷方法。

(１) 三-4-1:個別差異

受訪者若能提及一族群中的個體之間有性狀上的差異，即表示其擁有這個要點的概念。例如底下晤談資料，701post29 提到有的象有毛，有的則無毛。

T：所以長毛髮是可以抗寒，但問題是毛髮怎麼樣？本來是沒什麼毛的到後來變成長毛？

701post29：就跟樣子那個問題很像，就是可能就是有一隻象長出了毛之後，然後其他的可能就沒有毛 (三-4-1)

(２) 三-4-2:個別差異產生之因

此要點指的是學生能知道個體差異產生的原因，在高一之前，學生至少可能

知道有兩個原因：突變與有性生殖。由於這另涉及遺傳和生殖等複雜概念，因此只要能提及兩項原因中的一項，即表示其擁有這個要點的概念。例如底下晤談資料，107post22 提及即使基因相同，但兩者會組合在一起，而產生不同的基因，這屬於有性生殖的概念。故該生被評定擁有此一要點的概念。

Ｔ：沒關係，我們先看這邊題目，第一題

107post22：他們是分別在乾和溼的這兩個不同環境間在生長，所以說這些植物的下一代，應該指下一代不會有明顯變化，．．．，嗯就是這樣，然後之後再來就是數年後這些植物會如何，因為就算是同樣的植物，因為他基因完全相同嘛，可是兩者組合在一起不同的話，這些植物也會產生就是不同的基因（三- 4-2），所以這些植物就會變的適應這兩種環境，因為他會慢慢的去淘汰，淘汰不適應的

另外，再舉 108post29 之例，在底下的晤談資料中，108post29 明確的指出「葉子變細的基因，可能來自於突變」代表該生亦擁有此要點的概念。

Ｔ：嗯…ＯＫ。那為什麼它們可以變成說葉子比較細呢？為什麼？怎麼做到的？

108post29：因為它有…它有這個就是…變異的這個選擇，然後，才有辦法去變異的。

Ｔ：什麼較變異的選擇？

108post29：就是…它…就是…它…本身要先有那個…這個…可以變異成這個的

條件，然後才有辦法去演化成這樣。

T：比如說哪些條件？

108post29：就是能…就是能讓…葉子…就是…葉子可以變細的這個基因，就是…什麼之類的…

T：葉子變細基因哪裡來的？

108post29：葉子變細的基因…就是可能…來自突變之類的。（三-4-2）

T：來自突變…嗯…所以一定會有這個基因產生嗎？

108post29：不一定（三-4-3），要看看本身裡面有沒有這個條件。

（3） 三-4-3：隨機突變

當發現學生擁有變異來源的概念之後，可以隨後追問該變異來源的原因，如何學生表示會依據環境的壓力而突變，譬如天冷就一定會突變出長毛，則該學生可能擁有用進廢退的機制觀，將會編碼至三-2 或混合型的三 –3。若學生能表示不一定會發生突變（如前段 108post29 的最後一句回答），或是突變不一定會朝著對自己有利的方向突變，如底下晤談資料，107post06 明確回答筆者的問題，指出突變不一定會適應乾熱，因此被評定為擁有此一要點的概念。

T：所以它的突變一定會．．．．適應乾熱的？

107post06：不一定吧（三-4-3）

T：嗯哼

107post06：如果它那個一年生植物，也不能適應乾熱的話，那．．那然後它突

變也不能適應乾熱的話，就當然就死掉啦！

（4）　三- 4-4：先天性狀才可遺傳

本要點指的是，學生能以基因來解釋性狀，並指出由基因控制的性狀可以遺傳給子代。如底下晤談資料，107post03 在第二個回答中指出基因造成變異，且在最後一句回答中表達出性狀遺傳的想法(該生的其他種，指的是比較長毛的象) 的想法，因此被評定為擁有此一要點的概念。

T：所有生出來的小象都是長毛嗎？

107post03：嗯．．不會耶（三-4-5）

T：嗯哼

107post03：就是．．．大概只有．．就是剛剛好，如果生下來．．．真的有基因．．．有那種變異的話，才會有那種比較長毛的出現！

T：對對

107post03：如果沒有的話，那就是跟普通大象．．或者是比普通大象多那麼一點點的毛！（三-4-1）

T：嗯哼

107post03：就可能存活下來！

T：那為什麼毛越長．．．．就是最後面大家會變毛長的？

107post03：毛長喔？

T：嗯，一開始不是只有一隻毛長？

107post03：對阿！因為，如果牠在那個環境適應下來，然後剛好也有適應的那個．．其他種的話，　那跟牠生下來，就跟牠．．．．結婚生子，然後就可能．．．在生下其他種！（三- 4-4 ）

（5）　三-4-5：族群遺傳

本要點要檢驗的是，族群中性狀比率改變的想法，也就是族群中某一性狀的數量比例逐代增加，例如工業城市旁的森林，黑蛾比起白蛾比例增加，而非白蛾體色漸深變成灰蛾再變成白蛾。要擁有此項要點的概念，其實必須整合個別差異、遺傳、選擇等概念，因此很難用一句回答便判斷出來，必須參考受訪者的所有回答，做出綜合判斷。例如底下 701post29 的晤談資料顯示，「有一隻象長出了毛之後」代表其有「突變」的觀念，「其他的可能就沒有毛」代表有「個別差異」的觀念，「有長毛的象生存下來」代表有底下一個要點要談的「選擇」概念，「後來的大象都是有長毛的」代表有「族群遺傳」的觀念，因為後來的長毛大象是原長毛大象的後代，而「後來．．．都是」四字，代表長毛大象的比例增加。

T：所以長毛髮是可以抗寒，但問題是毛髮怎麼樣？本來是沒什麼毛的到後來變成長毛？

701post29：就跟樣子那個問題很像，就是可能就是有一隻象長出了毛之後（三-4-2 ），然後其他的可能就沒有毛（ 三-4-1 ），可能那隻有長毛的象生存下來（三-4-6 單 ），所以後來的大象都是有長毛的（ 三-4-4 ）（ 三-4-5 ）

701post29 的資料也可以用來說明一個擁有完整單因子天擇機制觀念的受訪者，由編碼三-4-1 到編碼三-4-5 等五個要點都擁有之。因此 701post29 將至少會被列為表 3-6-7 中代號 H 的演化概念模式（如下圖 4-3-7）。如果在整段訪談中，筆者無法偵測到上述五要點的其中數樣，但也發現學生並無用進廢退或環境刺激論想法的或，則該訪談資料將會被歸為不完整的天擇模式，例如下圖 4-3-代表的是缺乏編碼三-4-4 要點的不完整單因子天擇。

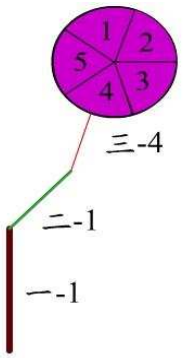


圖 4-3-7 單因子天擇的概念模式圖（H）

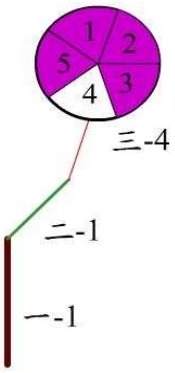


圖 4-3-8 不完整的單因子天擇模式（G）

（6） 編碼三- 5：多因子選擇

當一個學生具備完整的單因子天擇模式時，接下來可以去檢定其是否具有多因子選擇的看法，例如底下 107post27 和 710up28 的晤談資料顯示，雖然晤談題設定在冰河時期的大象，但因為 107post27 跳出「寒冷」這一項因子的限制，710up28 跳出題目設定的乾旱及冷濕，而考量到「環境可能改變」的另一項因子，因此評定其具有「多因子選擇」的概念，編碼將為：三 – 5 - 6。如果某位受訪者在整段訪談中，無法判斷出是否具有多因子選擇，而只有單因子選擇概念，則其編碼將為：三 – 4 -6。107post27 和 710up28 同時因為具有不一定會往特定方向演化的想法，所以在演化方向的層級中，會被評為編碼二 – 2。因此這兩人的概念模式可圖示成圖 4-3-。

問題：乾熱地區的植物

T：除了改變成細葉和絕種外還有別的可能嗎？

710up28：可能大自然會改變不再是乾熱或冷濕的環境（三-5-6 多）

問題：冰河時期的大象

107post27：大象的話也是跟剛才一樣看有沒有基因突變跟個體差異，有改變的話，能存活下去就繼續存活，那之前的大象就不能適應新的天氣的話，就會被淘汰掉

Ｔ：那要怎樣才能叫做適應？

107post27：就可能會長出毛髮，長毛象這樣子

Ｔ：除了絕種長毛髮還有沒有別的可能？

107post27：就、天氣又恢復啦，又變溫暖的話就有可能，之前的就繼續存活下去（三-5-6 多）

Ｔ：天氣不可能永遠冷？

107post27：對

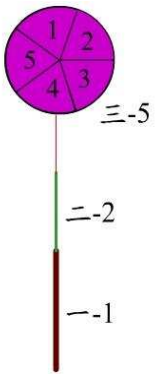


圖 4-3-9 107post27 具有的多因子天擇模式

二、小結

1、 受訪學生的另有概念

本研究前測各訪談了一些國中七年級生及高一生。正如第參章第一節研究對象所示：其分別代表了完全未正式學習過演化，以及學習過國中演化的兩類學生。經由前測晤談資料，或許可知這兩類學生的演化概念差異，同時這項結果也可以對我國學生由國中七年級至高一的演化概念發展，提供一些訊息。雖然國、高中的差異，還包括年齡、基測篩選、抽象思考能力、生活經驗等諸多因子，不過這一差異，應也可部分反映出國中現有演化教學的成效。

以前一小節所示的演化層級編碼法，分析了本研究所訪談的國高中生的前測晤談資料，有效樣本各 25 位、24 位。由表 4-3-2 的整理可看出：只有 3 位國中生沒有生物會演變的想法，表示絕大多數的國中已經意識到演化現象的存在，同時大多數國中生也了解到演變的方向是朝著功能需求（只有 5 位未能意識到），但其中只有少數人能稍微說出演化的機制（1+4+1 = 6 名），而且即使他們能對演化現象做出機制性解釋，這些解釋都是錯誤的，換言之沒有一位國中生在前測時具有正確的演化機制觀（即使不完整也寬鬆地算在內）。高中則呈現出不同的風貌，所有人都意識到演化的存在，且生物會朝功能需求演化，也只有少部分人（4 位）沒有演化機制的概念，但有一半以上同學做出的是錯誤的機制性解釋（3+8=11），有 9 位同學擁有正確的演化機制觀，不過大部分都無法說出演化機

制的全貌(7 位), 只有 2 位擁有正確完整的機制觀 , 這其中還有一位在前測時 , 以達到筆者所定義的最完整演化機制概念 , 也就是多因子天擇。

表 4-3-2 國、高中學生晤談前測的演化概念層次分佈情形

演化概念模式 簡稱	無演化	宿命	無演化機制	環境刺激	用進廢退	混合	不完整天擇	單因子天擇	多因子天擇
模式代號	A	B	C	D	E	F	G	H	I
國中 人數	3	2	13	2	4	1	0	0	0
高中	0	0	4	0	3	8	7	1	1

*表示為具備不完整的三 - 4

圖 4-3-10 顯示了參與晤談的國、高中在前測時不同概念層級的分佈比率 , 明顯的高中比國中學生具有較高的概念層級而朝右分佈 ; 一半以上的國中生 (52%)屬於概念層級 C , 也就是知道生物會朝功能需求演化 , 但不知機制為何 , 甚至連用進廢退的想法亦無 , 經過國一演化學習、國三基測複習 , 以及生活經驗更豐富的高一學生 , 則有大部分在 E 層級以上 , 也就是能夠說出一些演化機制 , 不過其中一大部分落在 E 層級 (13%) 和 F 層級 (33%), 也就是雖然能說出演化機制 , 但有著用進廢退或環境刺激的想法。雖然有合計 37%的高中生 (G = 29% , H = 4% , I = 4%) 能不受用進廢退的干擾 , 但只有少數 (8%) 的同學擁有

完整的天擇機制概念，這一點與文獻相符（Brumby，1984；Deadman & Kelly，1978；陳藍萍，2004）。

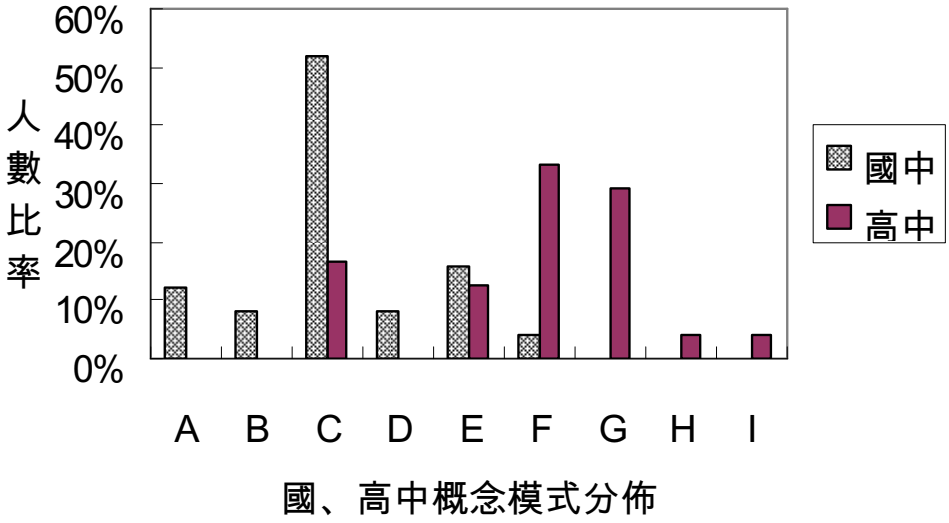


圖 4-3-10 受訪學生前測時所表現出的概念模式分佈情形

2、 現象與機制

本論文對學生演化論概念的分析，有別於其他研究僅以同層級的分類，而分成三個層級，這三個層級中，第一層代表有無意識到演化，第二層代表對演化方向的想法，這兩個層級代表的是學生對於「演化現象」的概念。第三層級代表對「演化機制」的了解，包括用進廢退、天擇等都屬於演化機制解釋之一，本研究另外認定天擇說是不足的，加入複雜系統特性的多因子天擇才是當今最能最佳的演化機制解釋。

在複雜系統或突現的想法中，有些現象與成分是不可共量的，難以用同一套

理論解釋，也就是所謂的「整體不等於局部之和」(范冬萍 & 張華夏，2005)。在第貳章文獻探討中也提過，這種現象不可化約至成分，而成份活動難以預測到現象層次的情況，在許多自然現象中常見（Chi，2005），例如擴散：「水中滴入染料，染料會朝特定方向（由多至少）方向移動，但其實這是染料分子不規則的布朗運動，卻造就了染料朝特定方向擴散的意象」，想像我是一個體積和染料分子一般大的個體，在水中看到染料分子的不規則運動（自己應該也在不規則運動），這時我應該預測不到，在巨觀層次裡，染料往特定方向移動了。

演化也是一個複雜系統所造成的現象，成分（環境、生物個體、基因）彼此的互動，造成生物朝特定方向演化，就好是分子的碰撞，造成染料的朝特定方向擴散。兩者的差異只是在於現象和成分的分野，一是在空間（擴散），一是在時間（演化）。生物在漫長時間中只佔一小點，就像是染料分子在無限空間只佔一小點。藉由保留下來的證據及人類的好奇心，人類突破了時間的障礙，看到了演化現象，在藉由追求真理的人類特性，進而知道了演化機制。但不保證每個人都知道演化現象，也不保證知道演化現象就知道演化機制。因此探討演化另有概念，應該同時考慮「現象」、「機制」兩層次。

透過本研究所訂定的演化概念三大層次及衍伸出的九大演化層級，可以讓我們更看清楚學生在演化論的概念為何？一個不知道演化現象者，在學習之後已進步到知道生物會演化，但說不清楚機制，這類學生常被與原本就知道演化現象，但教學前後都同樣說不清楚演化機制者，因為測驗題通常只注意到演化機制而無

法區辨兩類學生的不同。但事實上，兩類學生並不相同，前者仍有進步，至少他終於知道演化的存在，而後者則是完全沒進步。而靠著演化概念層級分析，便可以清楚區分這兩類學生的進步差異。

第四節　教學前後的概念改變與各組教學成效的探討

本節主要想探討的是在經過本研究所設計的三種教學模式之後，各組學生在演化概念上的進步情形，並進而對各種演化教材設計的成效比較，提供一些訊息。由於國、高中學生素質程度明顯有所差異，因此在討論教學成效時，不擬對國、高中做出太多比較，主要針對國中三組組間及高中三組組間進行分析，底下首先先分別討論國中三組：E、C、EC，學生晤談前後測的差異比較，隨後同樣的討論高中三組：E、C、EC，學生晤談前後測的差異，最後整合高、國中所得資料，再進行三組的組間比較。

一、國中學生的概念改變

在本節的討論中，所謂學生的概念改變，指的是學生在不同的演化教材教學之前後，以晤談方式所發現的概念模式改變情形，概念模式即是前一節所討論，由筆者所設計的三層次，總共 9 種程度不一的概念。此處將以概念模式圖呈現出各組每個學生的概念模式前、後測改變，並以此定義成學生在教學前後的概念改變。以概念模式圖呈現的優點為：除了可以和以代號呈現相同的「看到」學生的改變之外，也能較直觀地觀察到學生的何處進步。

（一）國 E 的前、後測差異

比較圖 4-4-1 與圖 4-4-2，可看出七位國 E 學生，分別在前、後測晤談的演化概念，及其改變情形，例如兩圖的圖 a 分別表示了代號 70607 的前後測，由圖 4-4-1 的 a 圖可看出 70607 在前測時的演化概念模式，屬於完全「沒有意識到演化現象的存在」，而由圖 4-4-2 的 a 圖可看出 70607 在後測時的演化概念已經進步到「知道生物會朝著功能需求演化，但仍不曉得機制」。又如兩圖的 b 可以顯示代號 70608 的受測者由「知道生物會朝著功能需求演化，但仍不曉得機制」進步到「有一些天擇機制的概念，但仍混雜著用進廢退的想法」。再如兩圖的 f 可以顯示代號 70638 由原本「具備用進廢退的演化機制」想法，進步到最正確的「多因子天擇」想法。兩圖的 g 可看出代號 70640 是唯一沒有進步者，無論前後測，其都維持著「知道生物會朝著功能需求演化，但仍不曉得機制」。

由兩圖的表徵比較，也可看出改變的趨勢，有很明顯「枝幹挺立」、「開枝結花」的進步情形。在前測時（圖 4-4-1）沒有一位具天擇機制概念，甚至 a、e 圖所示的兩位，枝條平躺，完全沒有「演化現象」的意識。但到後測時，每位同學都具有「演化現象」的意識，且七位中有五位「開了花」(圖 4-4-2 所示的 b，c，d，e，f)，具有演化天擇機制的概念，這五位有三位有正確的演化機制想法（圖 4-4-2 所示的 d，e，f)，這三位同學中，70637 的天擇概念尚不完整，缺乏族群遺傳的想法，但也有 d、f 兩位在教學後已具備了完整的天擇概念，甚至 70628 已具有多因子天擇的想法。

總結來看，參與晤談的七位同學，有六位在晤談之後進步（除了 70640，圖

4-4-1 和圖 4-4-2 的 f), 進步最大的可以說是 70637 , 他在前測中完全沒有演化觀念（圖 4-4-1，e), 在後測時進步成具不完整的單因子天擇概念（圖 4-4-2，e), 除了 70637 , 另一位在前測時完全沒有演化觀念者 , 在後測時已有用進廢退說的想法 , 雖然也是錯誤的演化機制觀 , 但至少已具備生物會朝對自己有利方向演化的想法。在前測中表現出已具有演化機制觀念的兩人：70615、70638 , 在後測也是表現最佳者，分別擁有正確完整的單因子天擇和多因子天擇的觀念。

雖然測驗題的結果顯示 , 本組教學前後 , 並沒有明顯差異 , 但晤談結果卻顯示出有進步的情況。筆者認為這可能是答案分類的不同 , 測驗題中受測者只有「最正確的多因子」、「正確的單因子」、「目的論」三種選擇 , 而在晤談中 , 卻可分析出受測者分成三層次九大類演化想法之一。換言之，當把另有概念也分出好壞時 , 便可看出學生的進步。雖然本組教學中 , 只有一人達到最正確的多因子天擇想法 , 但這是因為教材的限制 , 原本此「解釋類型融入」的演化教材 , 就無強調複雜系統多因子互動的概念 , 學生未能具備多因子想法 , 是很合理的。

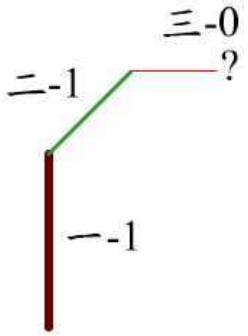
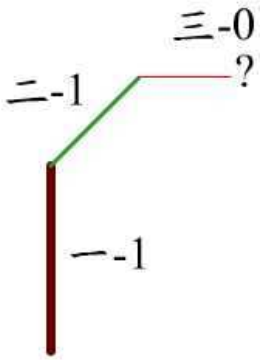
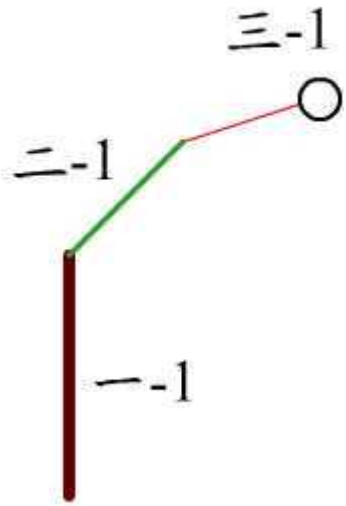
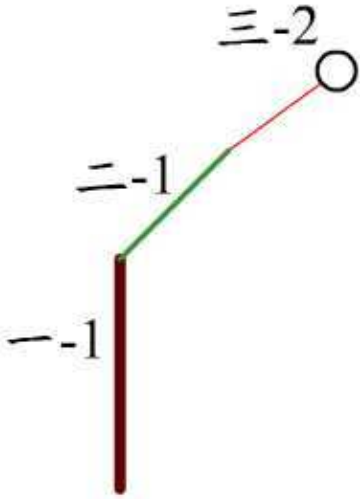
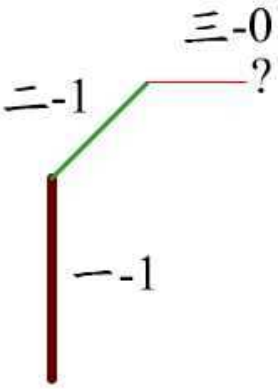
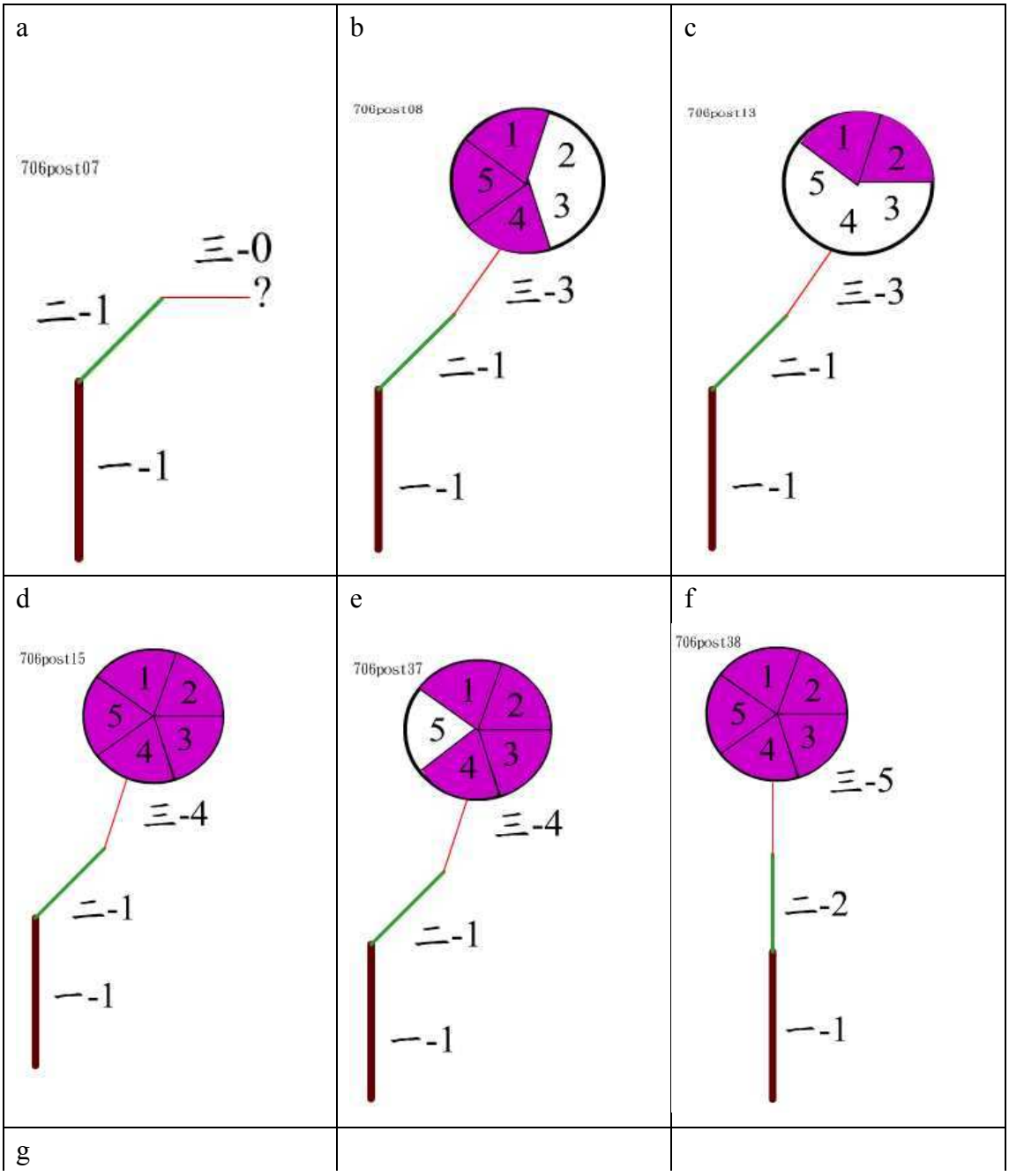
a 706pre07 	b 706pre08 	c 706pre13 
d 706pre15 	e 706pre37 	f 706pre38 
g 706pre40 		

圖 4-4-1 國 E 的七位同學接受晤談前測時所呈現出的概念模式



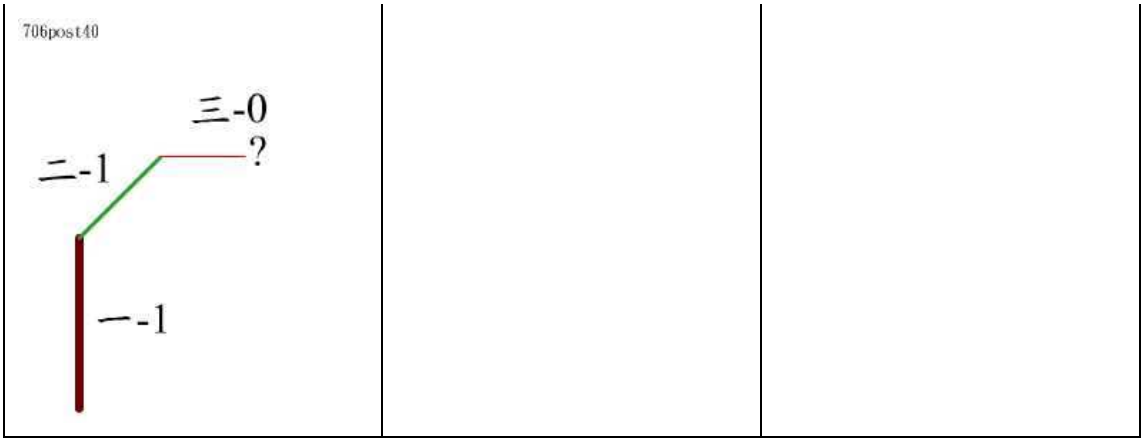


圖 4-4-2 國 E 的七位同學接受晤談後測時所呈現出的概念模式

（二） 國 C 的前、後測差異

比較圖 4-4-3 與圖 4-4-4，可看出九位國 C 學生，分別在前、後測晤談時的演化概念及概念改變，例如兩圖的圖 a 分別表示了代號 70104 的前後測，由圖 4-4-3 的 a 圖可看出 70104 在前測時的演化概念模式，屬於完全「沒有意識到演化現象的存在」，而由圖 4-4-4 的 a 圖可看出 70104 在後測時的演化概念已經進步到「知道生物會朝著功能需求演化，演化發生的機制是用進廢退」。又如兩圖的 b 顯示代號 70105 的受測者由「知道生物會朝著功能需求演化，演化發生的機制是用進廢退」變成「有一些天擇機制的概念，但仍混雜著用進廢退的想法」。再如兩圖的 g 可以顯示代號 70134 由原本「有一些天擇機制的概念，但仍混雜著用進廢退的想法」」想法，進步到「雖天擇概念不完整，但已無用進廢退的想法」。

一眼看過去的直覺，可看出後測亦有明顯的進步情形。在前測時（圖 4-4-3）只有 1 位具天擇機制概念（圖 4-4-3，g），但到後測時，已有 6 位同學至少都具有天擇的部分想法，以圖示而言，就是所謂的「開了花」（圖 4-4-4 所示的 b，c，e，f，g，i），這 6 位有 4 位有正確的演化機制想法（圖 4-4-4 所示的 d，e，f，i），其中 70134 的天擇概念尚不完整，缺乏部分性狀遺傳、變異發生、變異的隨機等想法，而 70129、70130、70138 等三位在教學後已具備了完整的天擇概念，70138、70130 等兩位已具有多因子天擇的想法。

總結來看，參與晤談的 9 位同學，在後測晤談時都表現得比前測時來得進

步，進步最大的可以說是 70138，他在前測中表現出知道生物會朝對自己有利的方向演化，但完全說不出機制（圖 4-4-3，i），但在後測時進步成具完整的多因子天擇概念（圖 4-4-4，i）。在前測時表現較不理想，完全沒有演化觀念的 70104，在後測時已有用進廢退說的想法，雖然也是錯誤的演化機制觀，但至少已知道生物會朝對自己有利方向演化。在前測中表現最佳的 70134 看似進步不大，但至少已移出了用進廢退說觀念。

和國 E 相同，雖然測驗題的結果顯示，本組教學前後，並沒有明顯差異，但晤談結果卻顯示出有進步的情況。應該也是晤談更能細部呈現學生進步狀況的原因。和國 E 不同的是本組在後測時，3 位具完整天擇觀念者，有兩位進步成具多因子天擇觀念，多了一位，或許是因多了「多因子互動」的複雜系統融入教材，所造成的效果。

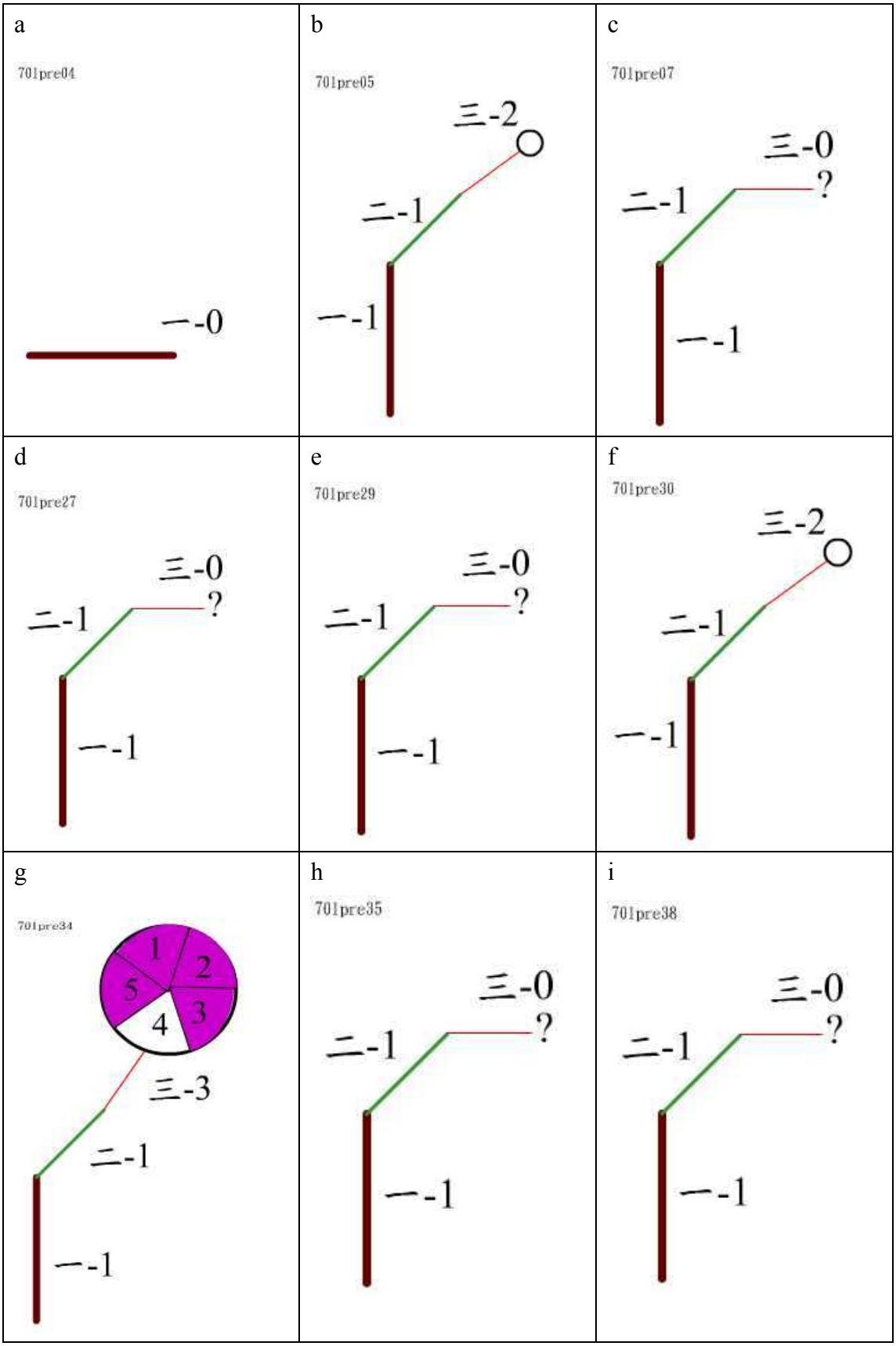


圖 4-4-3 國 C 的九位同學接受晤談前測時所呈現出的概念模式

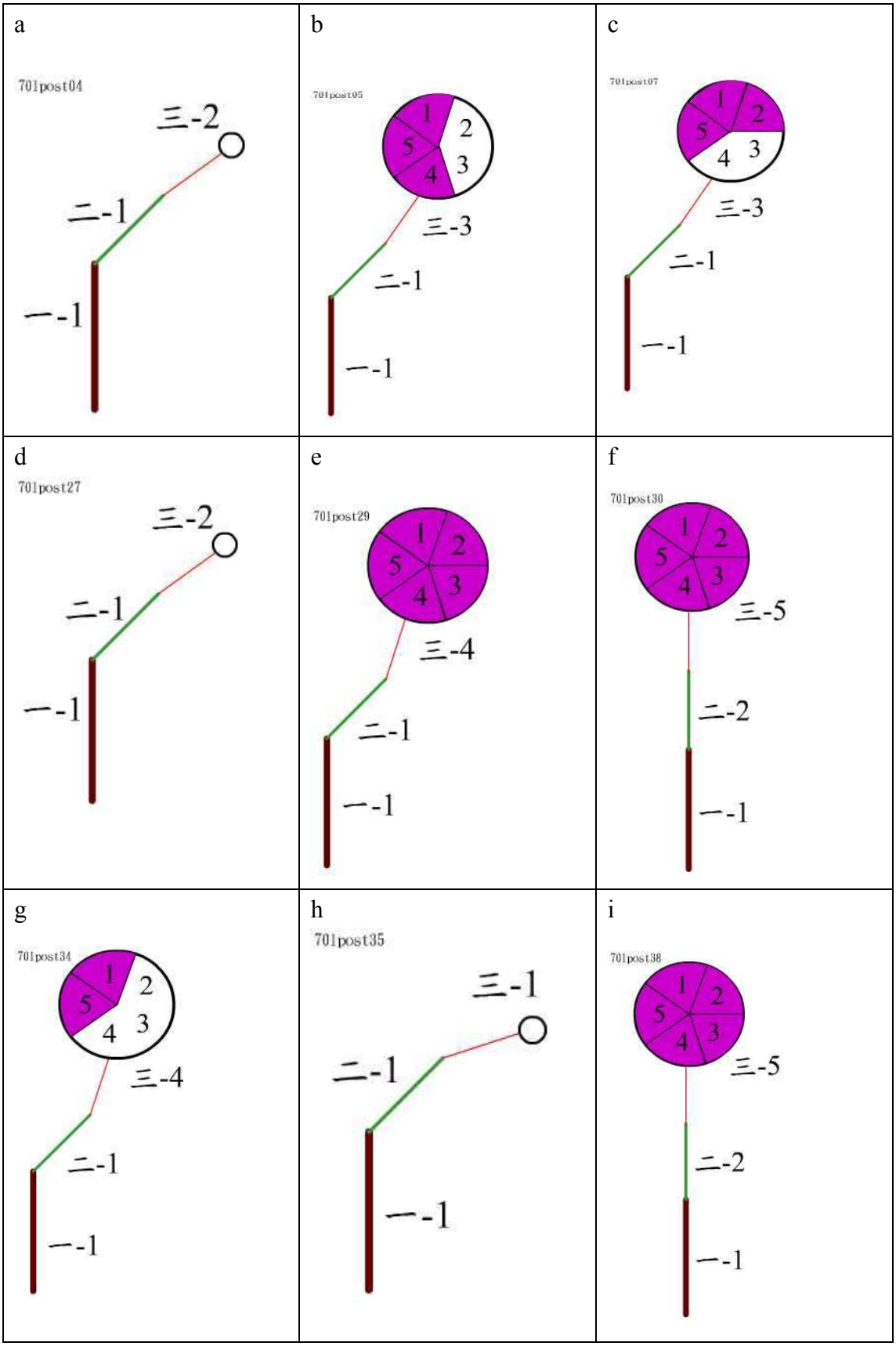


圖 4-4-4 國 C 的九位同學接受晤談後測時所呈現出的概念模式

（三） 國 EC 的前、後測差異

比較圖 4-4-5 與圖 4-4-6，可看出九位國 EC 學生，分別在前、後測晤談時的演化概念及概念改變，例如兩圖的圖 a 分別表示了代號 71006 的前後測，由圖 4-4-5 的 a 圖可看出 71006 在前測時的演化概念模式，屬於「知道生物會朝有利方向演化，但不具演化機制的想法」，而由圖 4-4-6 的 a 圖可看出 71006 經過教學後的演化概念，已經進步到「具備一些天擇機制的觀念，但混雜一些用進廢退的想法」。又如兩圖的 b 顯示代號 71011 的受測者的起跑點同 71006：「知道生物會朝有利方向演化，但不具演化機制的想法」，但教學之後已具備完整的單因子天擇的想法。再如兩圖的 g 可以顯示代號 71038 由原本「據環境刺激論的演化機制」想法，進步到「雖天擇概念不完整，但已無環境刺激的想法」。

一眼看過去的直覺，可看出後測有明顯的進步情形。在前測時參與晤談的 9 位同學沒有一位具天擇機制概念（皆未開花），但到後測時，已有 6 位同學至少都具有天擇的部分想法（圖 4-4-6 所示的 a，b，c，d，g，i），這 6 位有 5 位有正確的演化機制想法（除 70106，圖 4-4-6 所示的 a），這 5 位中有 3 位具完整的天擇概念，其中只有一位：而 71040 具有多因子天擇的想法，71011、71021 等兩位在教學後只具備了完整單因子天擇想法。

參與晤談的 9 位同學，在後測晤談時都表現得比前測時來得進步，在前測時表現最不理想，不知道生物會朝對自己有利方向演變的 71015、71033（圖 4-4-5

所示的 c，f)，其中 71033 在後測時雖然還是沒有演化機制觀，但至少已知道生物會朝對自己有利方向演化（圖 4-4-6 的 f)。而 71015 甚至擁有正確的演化機制觀雖然還不夠完整，但完全沒有用進廢退想法（圖 4-4-6 的 c)。進步最大的可以說是 71040，他在前測中表現出知道生物會朝對自己有利的方向演化，但完全說不出機制（圖 4-4-5，i)，但在後測時進步成具完整的多因子天擇概念（圖 4-4-6，i)。在前測中表現出已具備機制觀（雖是錯誤的機制）的兩人：71021、71037，在後測時都至少已擁有正確的機制觀，不再有用進廢退的想法（圖 4-4-5 與圖 4-4-6 的 d，g)。

測驗題的結果已經顯示，本組教學前後，有了顯著的進步，晤談的有效樣本雖只 9 位，但也同樣顯示出有進步。質性和量化的資料，都可皆露出 EC 的教材，的確也助於演化觀念的學習。

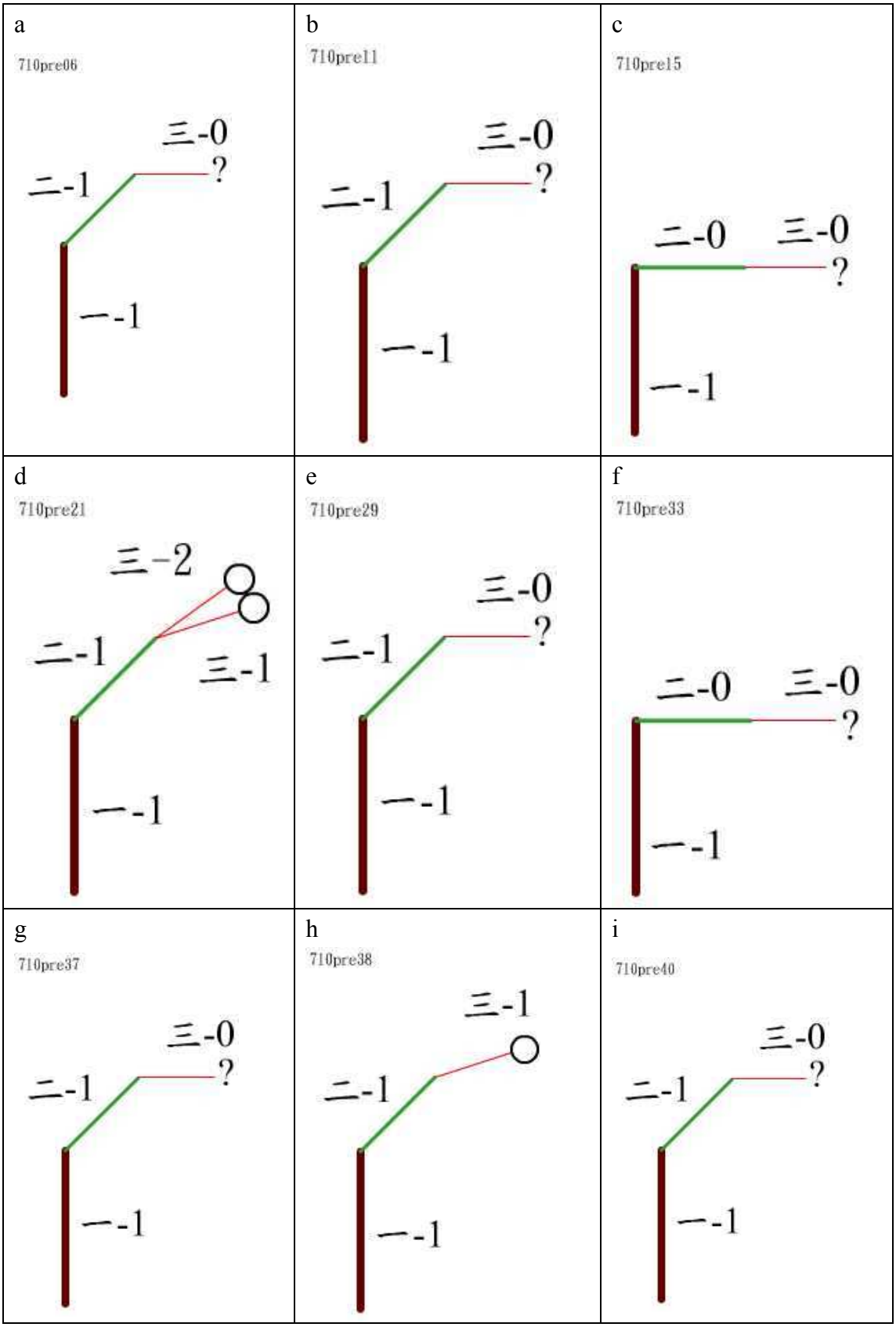


圖 4-4-5 國 EC 的九位同學接受晤談前測時所呈現出的概念模式

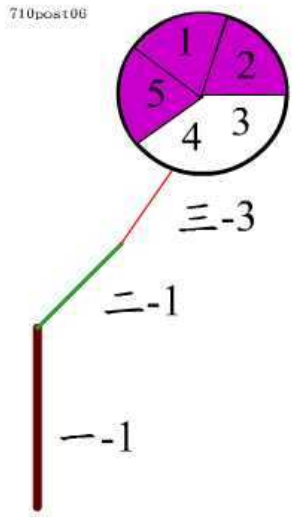
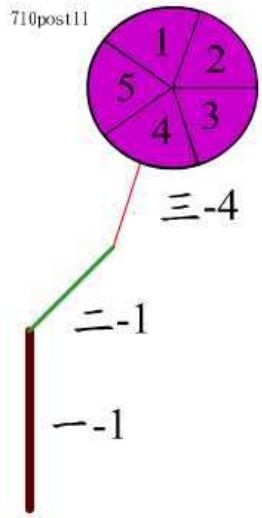
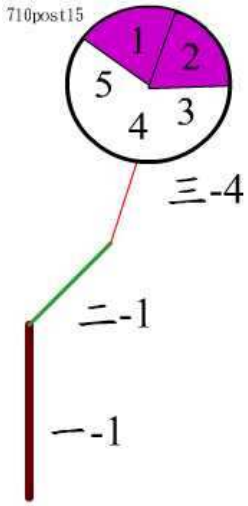
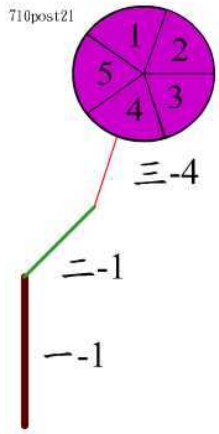
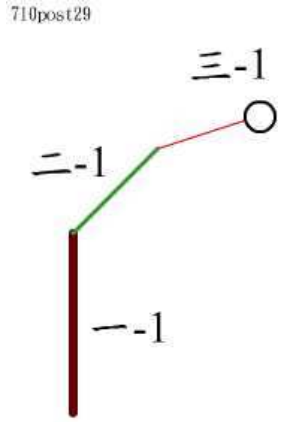
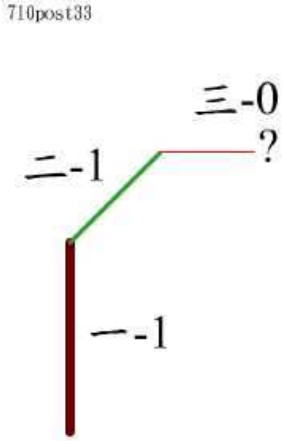
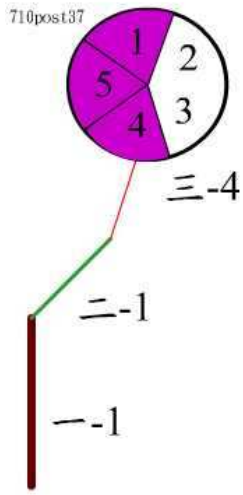
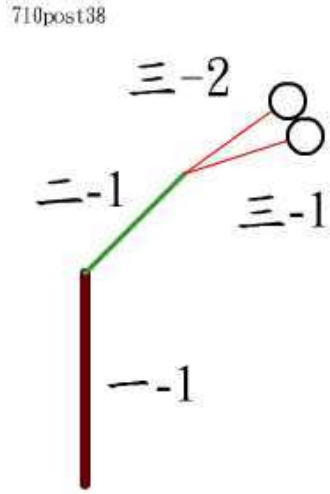
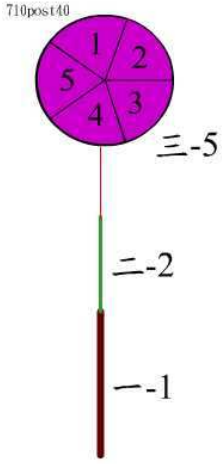
a  710post06 1 2 5 4 3 三-3 二-1 一-1	b  710post11 1 2 5 4 3 三-4 二-1 一-1	c  710post15 1 2 5 4 3 三-4 二-1 一-1
d  710post21 1 2 5 4 3 三-4 二-1 一-1	e  710post29 三-1 二-1 一-1	f  710post33 三-0 ? 二-1 一-1
g  710post37 1 2 5 4 3 三-4 二-1 一-1	h  710post38 三-2 二-1 三-1 一-1	i  710post40 1 2 5 4 3 三-5 二-2 一-1

圖 4-4-6 國 EC 的九位同學接受晤談後測時所呈現出的概念模式

（四） 高 E 的前、後測差異

由圖 4-4-7 可知：和國中差別很大的是，高中學生在前測時，大部分同學即表現出擁有演化機制觀念。另外，比較圖 4-4-7 與圖 4-4-8，可看出 8 位高 E 學生，分別在前、後測晤談時的演化概念及概念改變，例如兩圖的圖 a 分別表示了代號 10605 的前後測，由圖 4-4-7 的 a 圖可看出 10605 在前測時的演化概念模式，屬於「不完整的天擇概念」，而由圖 4-4-8 的 a 圖可看出 10605 經過教學後的演化概念，完全沒有進步，仍是缺乏了「部分性狀才能遺傳」的天擇想法。又如兩圖的 b 顯示代號 10611 的受測者原本屬於混合型：有部分的天擇想法，但仍有用進廢退機制觀，，但教學之後已具備完整的單因子天擇的想法。再如兩圖的 g 可以顯示代號 10631 在教學後，雖有多了「變異是隨機」的天擇要件概念，但還是擁有用進廢退的想法。

概念模式圖表徵的前後測比較，高中不像國中有明顯的差異，主要是高中的前測，學生的概念模式都已「開了花」(擁有天擇機制觀念)，比不上國中可從「只有枝條」進步到「開花」這麼明顯。不過由圖 4-4-7 與圖 4-4-8 還是可明確看出進步的趨勢，由「原本開的是不完整花」進步到「開出完整的花」，也就是由「不完整的天擇機制想法」進步到「完整的天擇想法」。後測有明顯的進步情形。在前測時參與晤談的 8 位同學只有一位具「完整的單因子天擇」概念 (圖 4-4-7 所

示的 e), 但到後測時，已有 5 位同學有之 (圖 4-4-8 所示的 b , c , d , e , h)。後測的 8 位同學中，只有一人還有用進廢退的概念 (圖 4-4-8 所示的 g), 另有兩人天擇概念雖不完整，但不至於有用進廢退想法 (圖 4-4-8 所示的 a , f)。相較於前測，8 位中只有兩位有正確天擇概念 (圖 4-4-7 所示的 e , f), 只有一人完整。

參與晤談的 8 位同學 , 有 5 位在後測晤談時都表現得比前測時來得進步 , 只有 3 位沒進步 (圖 4-4-7 和圖 4-4-8 所示的 a , e , g), 不過代號 10621 在教學前已達到「完整單因子天擇」想法 (圖 4-4-7 之 e), 也是本組所企求的教學目標，換言之 , 教學對該學生的而言 , 只是重複已學過的概念 , 所以未能進步也很合理。在前測時表現最不理想，沒有演化機制概念的 10619 (圖 4-4-7 所示的 d), 也算是進步最大者 , 由前測中表現出知道生物會朝對自己有利的方向演化 , 但完全說不出機制，進步成具完整的單因子天擇概念 (圖 4-4-8 之 d)。另外在前測中表現出擁有用進廢退想法的 4 位(圖 4-4-7 之 b , c , g , h), 在後測時只剩下代號 10631 的同學，仍未移除用進廢退想法 (圖 4-4-8 的 g)。

雖然測驗題的結果並未顯示出 , 本組教學前後有顯著的進步 , 但晤談的結果仍可看出學生的進步，因此，由晤談的概念模式結果顯示，本組教學仍有助於演化的學習。

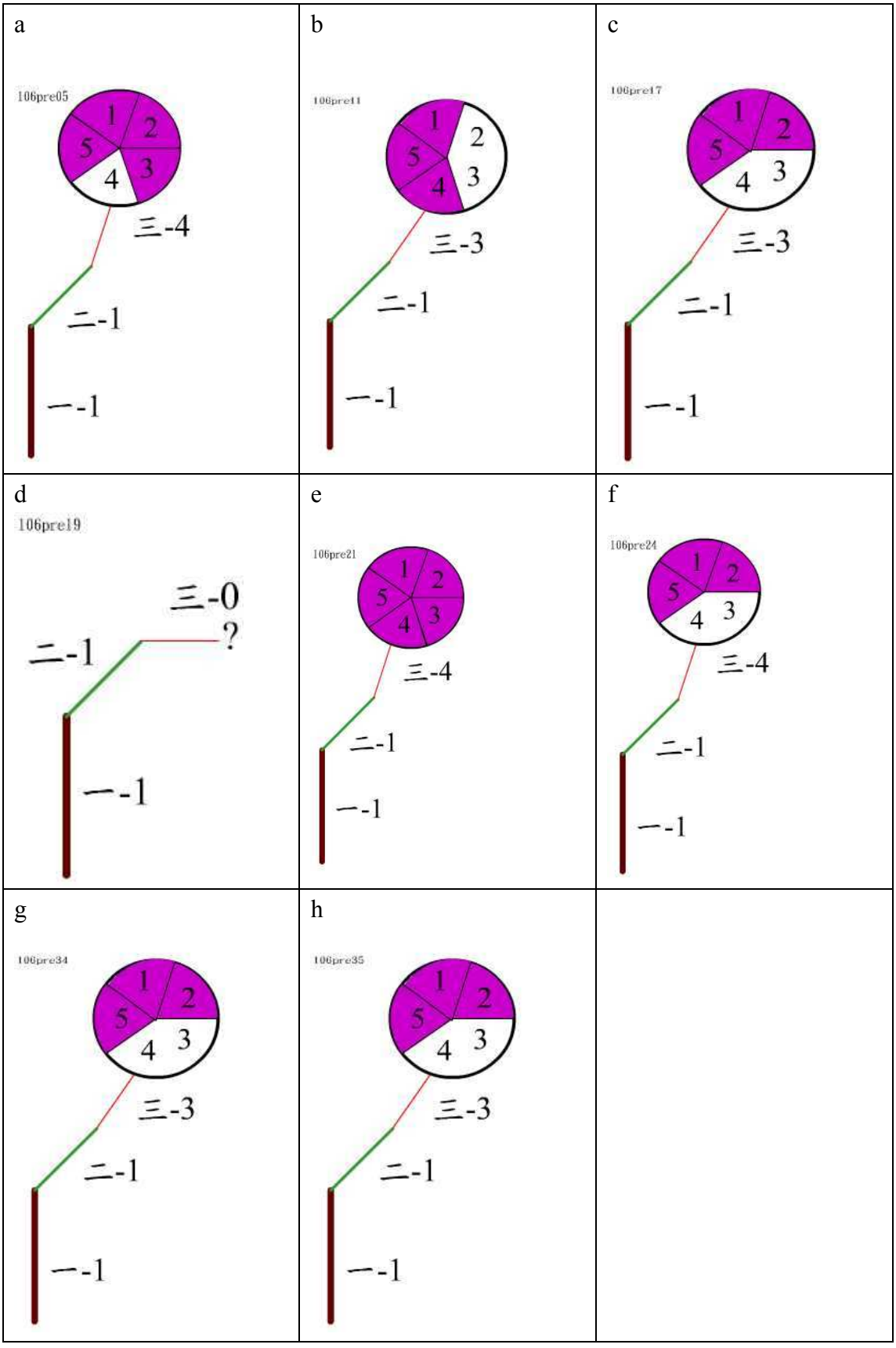


圖 4-4-7 高 E 的八位同學接受晤談前測時所呈現出的概念模式

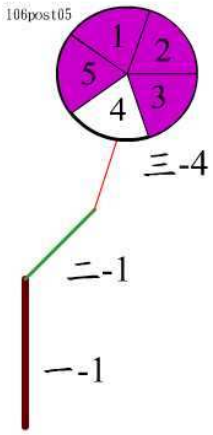
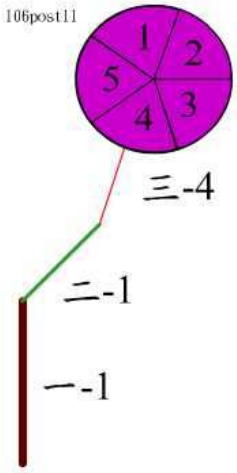
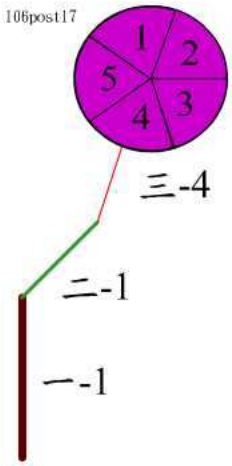
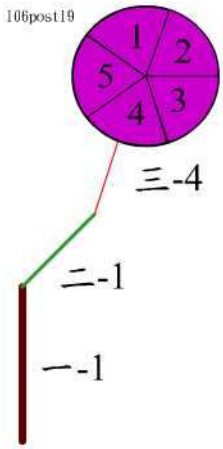
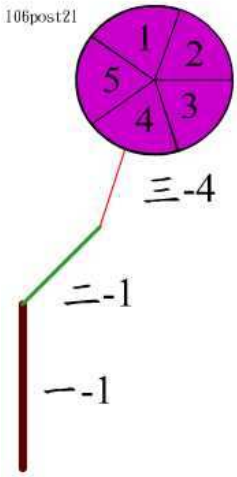
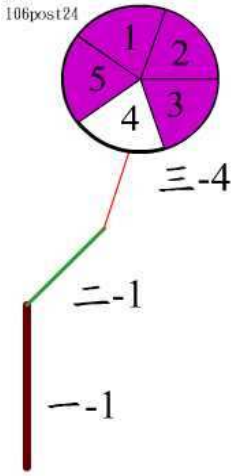
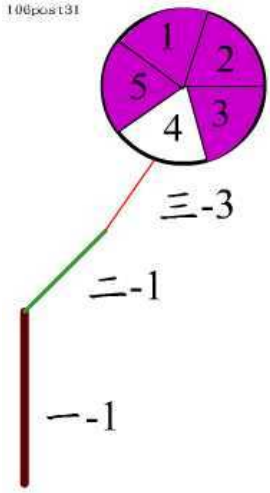
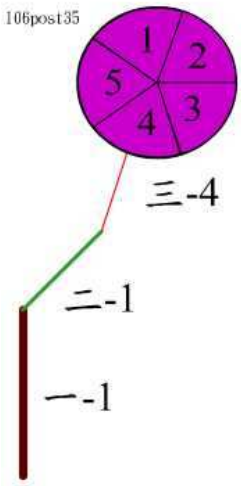
<table>
<tr>
<td>a
 
</td>
<td>b
 
</td>
<td>c
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>d
 
</td>
<td>e
 
</td>
<td>f
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>g
 
</td>
<td>h
 
</td>
<td></td>
</tr>
</table>

圖 4-4-8 高 E 的八位同學接受晤談後測時所呈現出的概念模式

（五） 高 C 的前、後測差異

比較圖 4-4-9 與圖 4-4-10，可看出 8 位高 C 學生，分別在前、後測晤談時的演化概念及概念改變，例如兩圖的圖 a 分別表示了代號 10802 的前後測，由圖 4-4-9 的 a 圖可看出 10802 在前測時的演化概念模式，屬於「知道生物朝有利的方向演化，但不清楚機制為何」，而由圖 4-4-10 的 a 圖可看出 10802 經過複雜系統融入的演化新教材教學，有大幅度的進步，已具備了完整的單因子天擇概念。又如兩圖的 b 顯示代號 10806 的受測者原本屬於不完整的天擇想法，缺乏變異的產生與隨機方向兩個天擇要件概念，教學之後略有進步，能表達出變異來源的想法，但仍缺乏變異方向隨機的概念。再如兩圖的 g 可以顯示代號 10829 由混合型而擁有用進廢退的想法，進步到最正確的多因子天擇概念。

由圖 4-4-9 與圖 4-4-10 還是可看出教學前後的進步，原本只有一位開了直立的花（多因子天擇），他也是唯一具備完整天擇概念者（兩圖的 f），到後測時已有 4 位為直立的圖（圖 4-4-10 所示的 c，e，f，g），且總計有 6 位的花式完整的（a，c，d，e，f，g）也就是具備完整的天擇要件概念。後測時，這 8 位同學沒有一位具備用進廢退的錯誤機制概念，至少都能有天擇的想法，雖然 10806、10833 兩位的天擇概念仍不完整。

參與晤談的 8 位同學，有 7 位在後測晤談時都表現得比前測時來得進步，只有 1 位沒進步（圖 4-4-9 和圖 4-4-10 所示的 f），但這是因為代號 10821 的受訪者，

在教學前已達到「完整多因子天擇」的想法，已達本研究所能評量的最正確演化概念，換言之，已無進步的可能性，教學對該學生的而言，只是重複已學過的概念，就算真的有進步，也無法評量出來。在前測時表現最不理想，沒有演化機制概念的 10803、10833 兩位（圖 4-4-9 所示的 a、h），教學之後，分別進步到具備完整或不完整單因子天擇概念（圖 4-4-10 所示的 a、h）。

晤談所得結果分析，能呼應測驗題的結果，也就是融入複雜系統的演化新教材教學有助於演化觀念之建立，本組教學前後有顯著的進步，且多因子天擇的正確概念模式，在 8 位接受晤談的學生中有 4 位後測時擁有之，佔了 50%的比率，相較於前測時，只有一位擁有多因子天擇想法（占 12.5%），本組教學的確也呼應了測驗題中所顯示的學生選擇「多因子」選項的前後測差異（如表 4-2-2）。

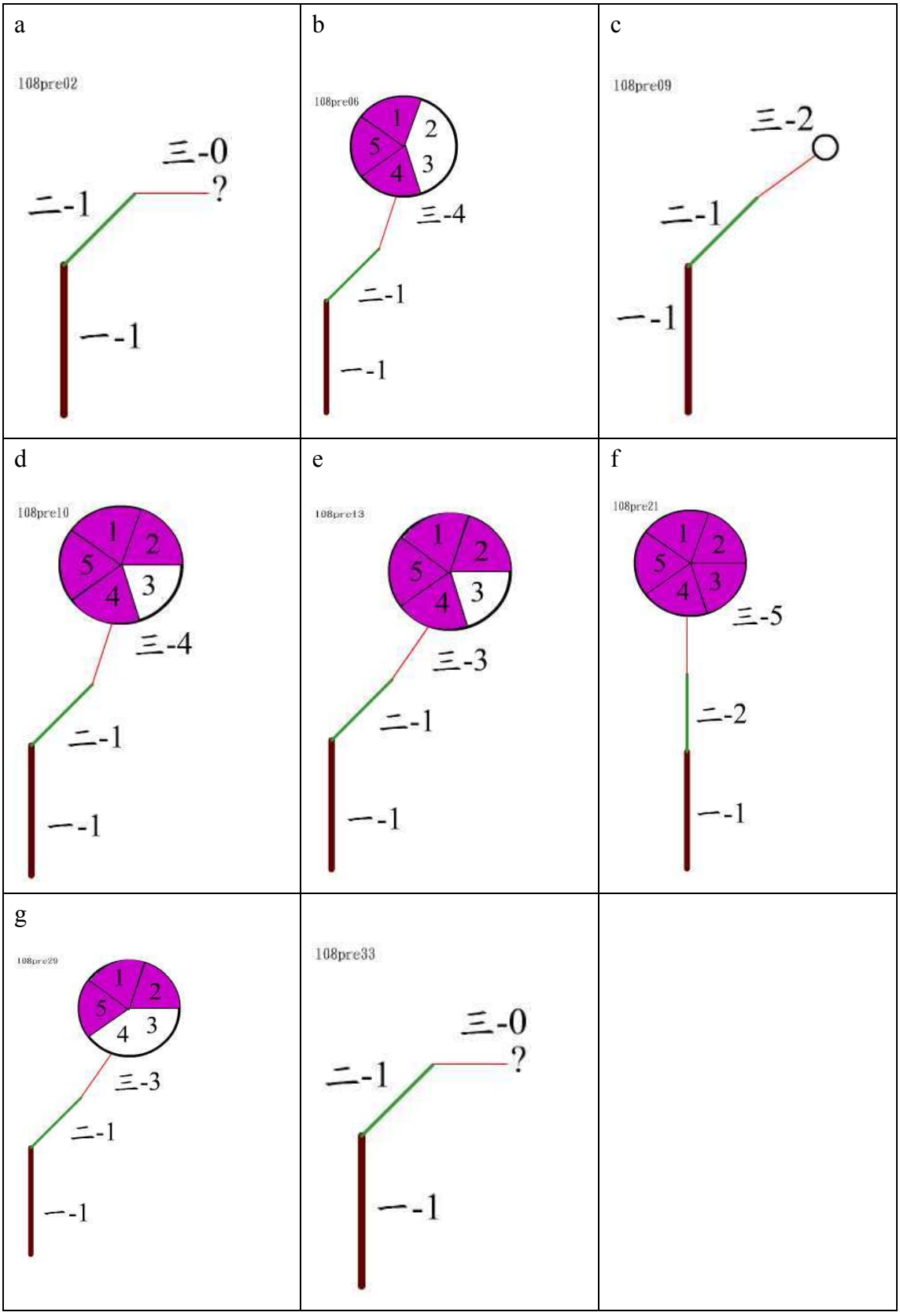


圖 4-4-9 高 C 的八位同學接受晤談前測時所呈現出的概念模式

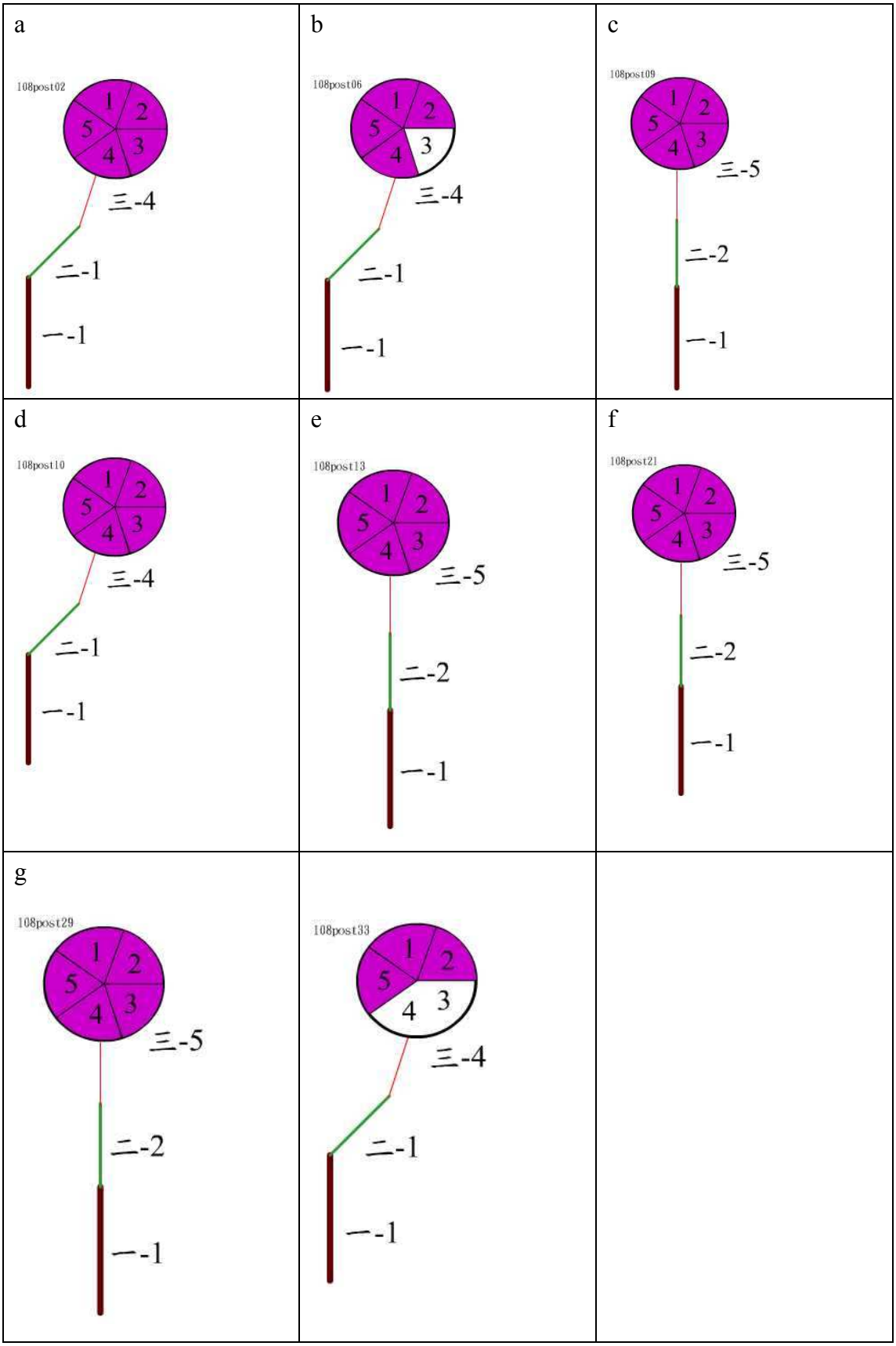


圖 4-4-10 高 C 的八位同學接受晤談後測時所呈現出的概念模式

（六） 高 EC 的前、後測差異

比較圖 4-4-11 與圖 4-4-12，可看出 8 位高 EC 學生，分別在前、後測晤談時的演化概念及概念改變，例如兩圖的圖 a 分別表示了代號 10703 的前後測，由圖 4-4-11 的 a、b 圖可看出 10703、10706 兩人在前測時的演化概念模式，屬於「知道生物朝有利的方向演化，但以用進廢退來解釋演化的發生機制」，而由圖 4-4-12 的 a、b 圖可看出兩人在經過解釋類型與複雜系統共同融入的本組演化新教材教學之後，都大幅度進步成已具備了最正確的多因子天擇概念。再如兩圖的 g 可以顯示代號 10734 前測時缺乏「變異是隨機發生」概念，後測時則顯示已得到此概念，而擁有完整的單因子天擇想法。

由圖 4-4-11 與圖 4-4-12 的所有成員概念模式圖，也明顯可看出教學前後的進步，原本沒有人開了直立的花（多因子天擇），也沒有人花是完整的（具備完整天擇概念者），但到後測時已有 5 位為直立的圖（圖 4-4-12 所示的 a，b，d，e，h），且總計有 7 位的有完整的花。

參與晤談的 8 位同學，有 7 位在後測晤談時都表現得比前測時來得進步，而且這 7 位都進步成至少具備完整的單因子天擇想法。只有 1 位，代號 10710，也是在前測時表現最不理想者沒進步（圖 4-4-11 和圖 4-4-12 所示的 c），無論前、後測，都表現出知道生物會朝有利方向演化，但都說不出演化的機制。

晤談所得結果分析，也能呼應測驗題的結果，也就是融入解釋類型與複雜系

統的演化新教材教學，有助於演化觀念之建立，本組教學前後有顯著的進步。扣掉不明原因未進步的 10810，進步的這 7 位，都已具備完整的天擇概念，佔本組晤談人數的 87.5%，且有 5 位具備多因子天擇的正確概念模式，佔接受晤談學生的 62.5%。後測時，除不具備演化機制的 10810 之外，每個同學的天擇機制概念都是完整的。無論是天擇概念的完整程度或是多因子想法，都是高中各組之冠，符合表 4-2-1 與表 4-2-2 所示。這似乎也證實了兩種演化教學新取向共同融入演化教材教學時，會帶來最佳的學習效果。

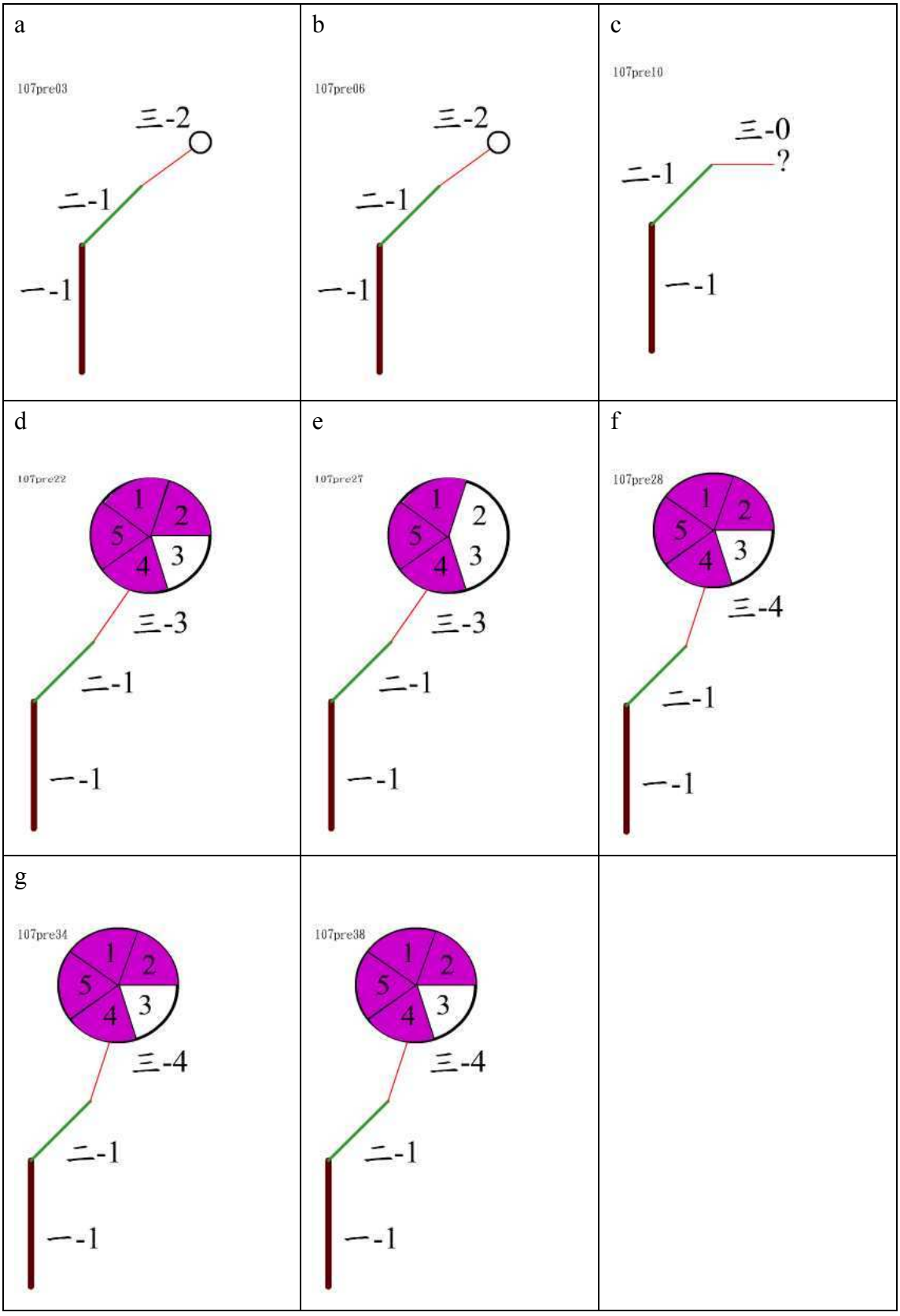


圖 4-4-11 高 EC 的八位同學接受晤談前測時所呈現出的概念模式

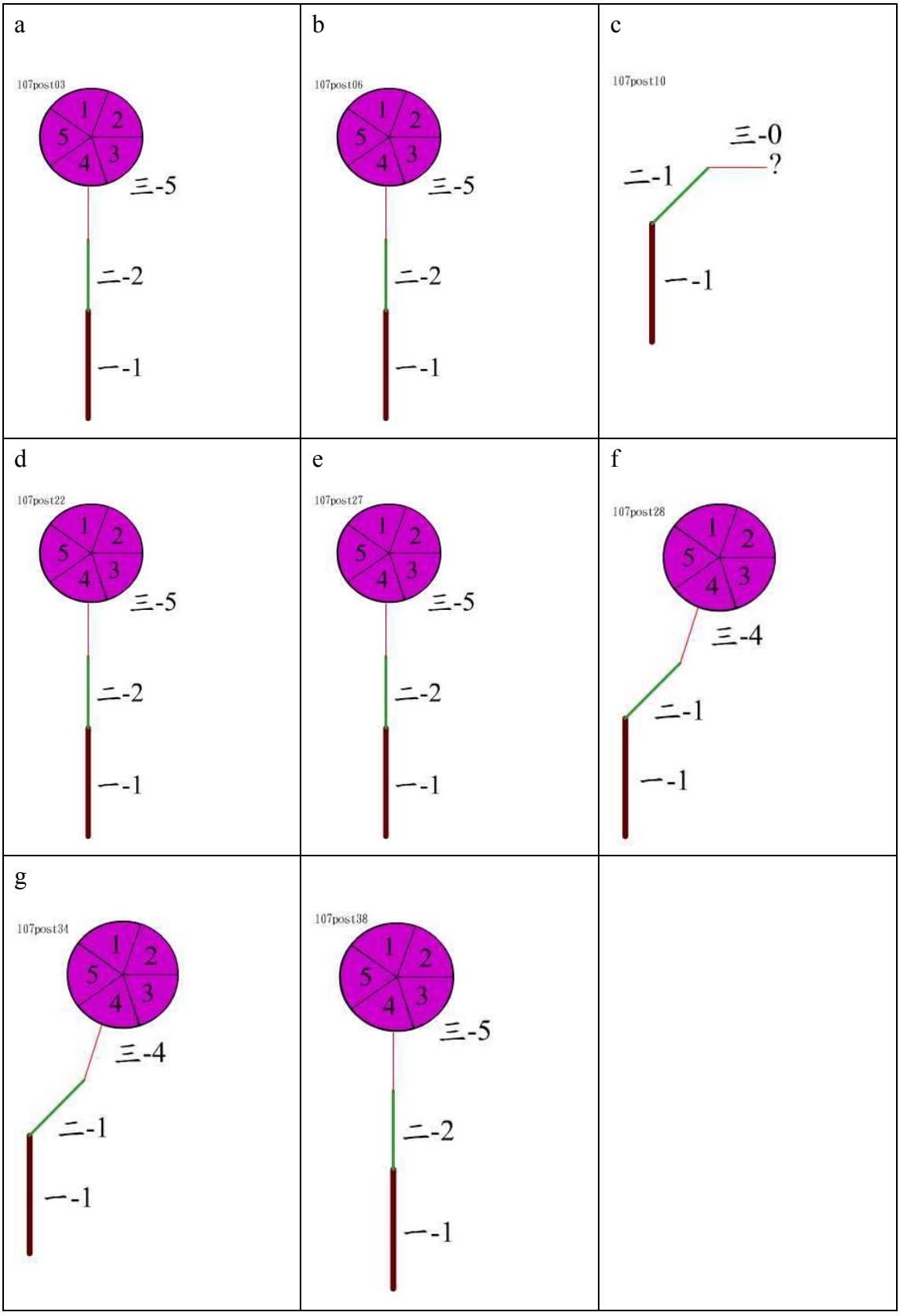


圖 4-4-12 高 EC 的八位同學接受晤談後測時所呈現出的概念模式

（七） 小結與討論

1、 前後測概念模式的改變

前六小節分別以晤談所得資料分析部分學生的概念模式，並以前後測的比較看出三種演化新教材對於學生似乎都有所助益。不論高、國中生，本小節欲進一步分析，以學生概念模式的改變，分析這三種教材是否有優劣之別。

為方便比較三組差異，本處將改以代號來代表各概念模式，編碼代號方式如第三節所指出的表 4-3-1 所示，此處不再重複說明。底下的表 4-4-1 即以概念模式代號呈現各組接受前、後晤談的所有成員之前後測差異。在模式代號 F（混合型）、G（不完整天擇），會缺乏某些天擇要件概念，例如代號 10605 者其在前、後測時，都屬於不完整天擇，缺乏第四項天擇要件概念：先天性狀可遺傳，因此表徵成 G-4。本表另以底色呈現完全未進步者，並將在後測時達到單因子或多因子，給予特殊的標記。

由表 4-4-1 可看出，在所有參與前測晤談、教學、後測晤談的 49 位國、高中生中，只有 6 位（高中 4 位，國中 2 位）的後測概念模式未改變（71038 由環境刺激論的機制觀改為用進廢退，雖有改變，但兩者同屬於錯誤機制觀，故定義成未進步），有 43 位進步，比率達到 87.8%。未進步的高中 4 位中，有 2 位高中生原本就已有正確的演化觀念，如 10621 與 10821，無法再進步是合理的，換言之，只有 24 位中的 2 位完全未進步，占高中生僅 8%，國中未進步者也同樣只

有 8%。這個結果顯示大多數的同學都可在三種不同課程中受益，少部分未受益者，筆者認為比較可能屬於上課未參與者（睡覺、恍神等），而非課程內容完全不能做出貢獻。

雖然有大比率的人員進步，但有些只是從「沒演化意識」進步到「知道演化會朝有利方向，但還是不知演化機制」（代號 70607），在本研究中，這也可算是進步，但在一般演化教學研究中，會將後測達到模式 H（完整單因子天擇）或 I（多因子天擇）才算完成教學目標。若以作為傳統上的教學目標為準，也就是在後測達到模式 H 或 I 為準，則高中一共有 18 位達成，占所有晤談高中學生的 75%，國中只有 8 位，佔國中晤談學生的 32%。顯見本研究所訂出的三種演化教材對高中生的效果較佳，對國中生效果較為不佳，國、高中生的何種差異導致學習效果有異呢？當然這涉及了國、高中生年齡、經驗、閱讀能力等等各方面因素，牽涉範圍甚廣，並非本研究的探討目標，本研究所得的資訊也無力回答此一問題。

若將模式 H、I 分開來看，高 E 最多進步到模式 H，沒有人在後測時達到模式 I，高 C 和高 EC 則大部分能達到 I，顯見複雜系統融入教學的高 C 組和 EC 組，確能給學生「演化受到不只一項因素影響，使得演化方向可能為非定向，而難以預測」等等的突現和多因子互動的演化觀念，達成該教材的教學目標。

但高 C 和高 EC 比較起來，高 C 似乎比較有可能無法接受到完整的天擇觀，如 10806、10803，除了可能也是本身學習因素之外，或是高 C 組因為比高 EC

缺乏了「解釋類型融入」教學，導致學習較差。

國中部分，雖然進步到模式 H 和模式 I 的人並不多，但每組還是有 2-3 個，這似乎也顯示各組教材對國中生沒有太大差異，個人的學習情況差異才是主因？但本研究所得的資料，並無法回答此一問題。

表 4-4-1 所有晤談成員概念模式前後測改變情形

高中組別	受測者代號	前測概念模式	後測概念模式	國中組別	受測者代號	前測概念模式	後測概念模式
E	10605	G-4	G-4	E	70607	A	C
	10611	F-23	H		70608	C	F-23
	10617	F-34	H		70613	C	F-345
	10619	C	H		70615	D	H
	10621	H	H		70637	A	G-5
	10624	G-34	G-4		70638	E	I
	10631	F-34	F-4		70640	C	C
	10635	F-34	H				
C	10802	C	H	C	70104	A	F
	10806	G-23	G-3		70105	E	F-23
	10809	E	I		70107	C	F-34
	10810	G-3	H		70127	C	E
	10813	F-3	I		70129	C	H
	10821	I	I		70130	E	I
	10829	F-34	I		70134	F-4	G-234
	10833	C	G-34		70135	C	D
					70138	C	I
EC	10703	E	I	EC	71006	C	F-34
	10706	E	I		71011	C	H
	10710	C	C		71015	B	G-1345
	10722	F-3	I		71021	E	H
	10727	F-3	I		71029	C	D

10728	G-3	H	71033	B	C
10734	G-3	H	71037	C	G-23
10738	G-3	I	71038	D	E
			71040	C	I

若改以比率觀之，如圖 4-4-13，三組的前測有大致以概念模式 C（亦即無機制概念）為最多，而在後測時三組也有類似的分佈，只有國 E 組有比較高比率的概念模式 C，此結果大致符合表 4-2-5 至表 4-2-6 的量化分析結果，也就是三個組（般）的正確答案無差異，表 4-2-7 至表 4-2-8 的量化分析結果顯示三組後測的多因子答案量及單因子答案量有差別，在此則不明顯，各組後測晤談中，屬於概念模式 I（多因子天擇觀）與概念模式 H（單因子天擇觀）的人數比率差不多，除了可能題目設計的問題外，另外原因可能來自晤談樣本數較少所致。

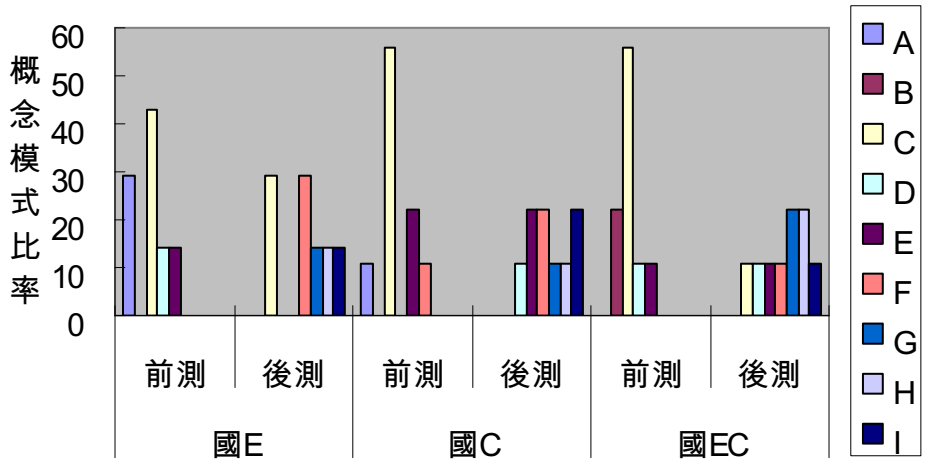


圖 4-4-13 國中三組接受晤談學生前後測概念模式比率的變化

圖 4-4-14，則表示了高中三組接受晤談學生，在前後測時概念模式的變化，

可以看出三組後測最大的差異，來自高 EC 和高 C，相較於高 E，有高比率的學生，已具有多因子天擇觀（概念模式 I），相對的高 E 則停留在概念模式 H，未具有多因子天擇觀。這再度顯示了複雜系統融入高中演化教學，的確有其正面影響。相對的，高 E 還有一些比率學生具混合型模式，似乎說明了解釋類型融入演化教學，沒有筆者原先預期的功效：強調功能性解釋與機制性解釋的差別，將有助於學生更易移除用進廢退的觀念。

圖 4-4-14 也看出有一些比率學生仍處於無機制狀態，其實前面亦提過，這一位學生在前測時亦屬此概念模式，之所以未進步，可能是因為未參與上課活動，或是對於晤談採消極態度所致。

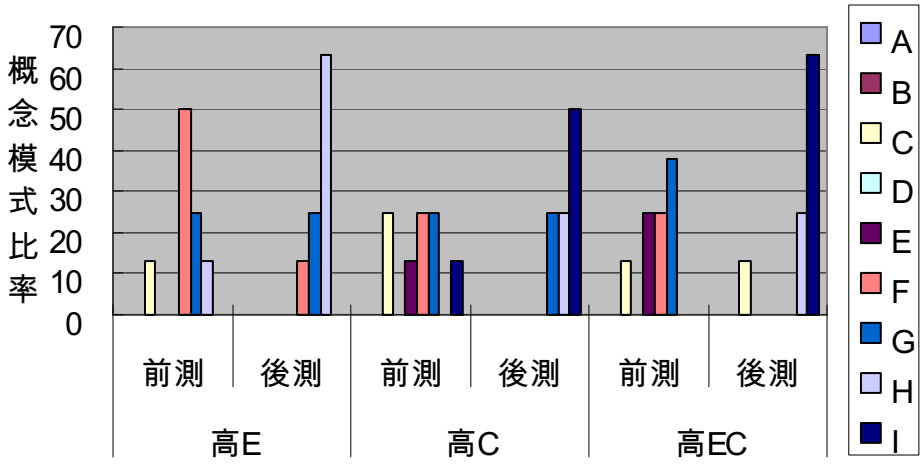


圖 4-4-14 高中三組接受晤談學生前後測概念模式比率的變化

2、 <u>用進廢退難以移除</u>

由後測的晤談中，也發現到用進廢退的觀念，頗難以移除，例如：底下三位

後測時已達到正確概念模式者，晤談資料所顯示，一位（107up05）自覺用進廢退的想法有慣性，常不自覺反射而出，兩位（107up12 和 108post09）則在未提醒之前，也用了用進廢退來說明演化機制（在經過提醒之後，他的確能用正確的天擇來說明）。

107up05：印象最深刻喔…應該是…應該是探討平常人對用進廢退說還有天擇說的盲點，就是我們一般都會導向用進廢退說，可是事實上生活演化卻是依照天擇說來進行，大概就是這一方面印象最深刻。

T：就是妳…把妳釐清楚了這兩個不同是嗎？

107up05：可是有時候，就是如果是反射性的話，還是會馬上想到用進廢退說，就是，如果馬上想到天擇說的話就是要用思考的，就比如說你兩種物種再比較的時候，可能我才會想到天擇說，那你單一告訴我這一個東西，叫我去分析的話，我會馬上想到用進廢退，對，感覺像是人類反射性的心理。

T：怎麼樣從這麼大隻變超級小隻？

107up12：因為天氣很冷，他的後代已經越來越瘦，如果他們很幸運長大的話，他們生的後代會越來越小隻，因為沒有辦法長更大，可能是因為植物不夠或是為了要適應天氣，所以他們本身體型就不會長的太大隻

T：這是不是用進退廢說？

107up12：對喔，糟糕，壞習慣…我知道了答案是全部都死掉，因為他們沒辦法

在很快的時間內就馬上適應冰河時期，

T：可以用達爾文的天擇說來解釋嗎？從大象變成小象

107up12：可能有某幾隻大象突然突變出稍微能適應環境的，然後他們的後代也比較能夠適應環境，所以就越來越多比較能適應環境的大象，然後後來那些大象又存活下來，雖然沒有辦法完全的適應環境可是至少比前一代的比較能夠適應環境，所以他們能夠維持稍微更久一點，可是最後也有可能會死掉

T：怎麼樣讓毛長出來那麼長？

108post09：怎麼長啊…嗯，我想一下。

T：怎麼演化出來的？

108post09：怎麼演化…應該是…受到刺激的關係吧，所以自己體內就有那種自動…我不知道怎麼講耶，就是有點像…，頭腦會自己那種毛囊甚麼之類的，就讓它長。

T：可不可以用達爾文的天擇說說明一下？

108post09：應該可以啊，就是…沒有、就是有刺激到但是沒辦法長毛的可能就死翹翹了，然後剩下有辦法可以長的，牠可能就活下來了，然後就…就是因為時間越來越久嘛，然後可能…牠可能有越來越冷之類的啊，然後所以牠們可能就是…一樣是有刺激到然後有長出毛的，就長更長的，可能就活下來了，然後那些只能在短期的因為沒辦法出去找食物啊，就可能找一下周圍沒找到，然後就回去，然後就常這樣就死了。然後就是…就像…上一題，像上

一題植物的那一題，就是…越、越能夠、越能夠適應這個環境的當然就活下來，然後越不能適應的，當然就死掉了

3、 後測的進步

同樣是檢驗前後測的差異，由第二節量的分析中，我們只能看到部分組別的進步，但利用演化概念層級或概念模式圖，我們卻可看出幾乎所有參與晤談的同學（49 中有 43 人，占 88%）都有或多或少的進步。之所以和量的分析有差別，可能原因有：

1、量的分析只看選項正確（多因子＋單因子）與不正確（目的論），而概念層級則分成九個層級，且在部分層級還可區分出完整與否，因此「解析度」較高。

2、量的分析是以全組（班）的整體表現為比較基準，而概念層級分析是以各班部分參與課程者，也就是接受晤談者為樣本，兩者樣本數有差別。

3、接收晤談的學生或許在前測與筆者有面對面的接觸，因此在上課者較為認為，也就是發生了一些施測者（experimenter expectancy effects）{Whitley, 2002 #262}。

第五節　教學成效的歸因

承本章第二、四節所分析的結果，可以整理成表 4-5-1，大體上可以看出以下結論：三組教材都能使學生產生量性的概念改變，但改變的幅度大小有別。三組教材中，EC 似乎優於 C，C 又優於 E，對高中的教學效果比對國中而言較佳。

表 4-5-1 各組教學成效的整理

	組內前後測		組間後測比較	
	測驗題	晤談	測驗題	晤談
國中	國 EC 顯著進步	各組學生概念模式大致皆皆能進步	多因子答案數：國 EC > 國 E	差異不明顯
高中	高 C、高 EC 顯著進步	各組學生概念模式大致皆能進步	正確答案數：高 EC > 高 E 多因子答案數：高 C > 高 E 高 EC > 高 E	高 E 大多達到模式 H，高 EC、高 C 大多達模式 I

本論文研究的焦點是在探討「解釋類型」和「解釋類型中的複雜系統觀」融入演化教科書文本之後，對於演化概念學習的影響。如圖 4-5-1 所示，本研究經

由文獻探討，得到「解釋類型融入」與「複雜系統融入」兩種改良演化教學的提案，並將之編輯成三組演化教科書文本：解釋類型融入（E）、複雜系統融入（C）、解釋類型與複雜系統共同融入（EC）。並以測驗題、晤談之前後測差異，評估學生的概念改變，並據以推論三組教科書文本的貢獻程度，但在教科書本本與學生概念改變之間，必須經過中介。有兩種可能的中介，一是學生透過自行閱讀，但這並非本研究的研究方法。本研究採用的是第二種中介：將教科書文本的內容改寫成教材，包括學習單、投影片，及各概念呈現的順序和舉例都算在其內，這之後還要經過教學現場的操作。有經驗的教師和教育研究者都很清楚，這中間會有許多的混淆變因，因此造成了三種教科書文本影響演化概念改變的推論困難。為了要更能清楚的歸因，本研究在晤談後測時，除了原有的晤談題，另外也要求學生回答以下三個問題：印象最深刻的內容、能否說出教材的重要內容（E 組為兩個層次的為什麼，C 組為達爾文天擇的不足之處，EC 組為兩個都問）、與國中所學演化的不同點。這些問題除了原有前後測晤談的 49 位國、高中同學之外，也另外找了國中每組 2 位，高中每組 3 位，在前、後測測驗題之間表現進步最多的同學。底下依序進行國、高中 E、C、EC 組進步歸因的討論。

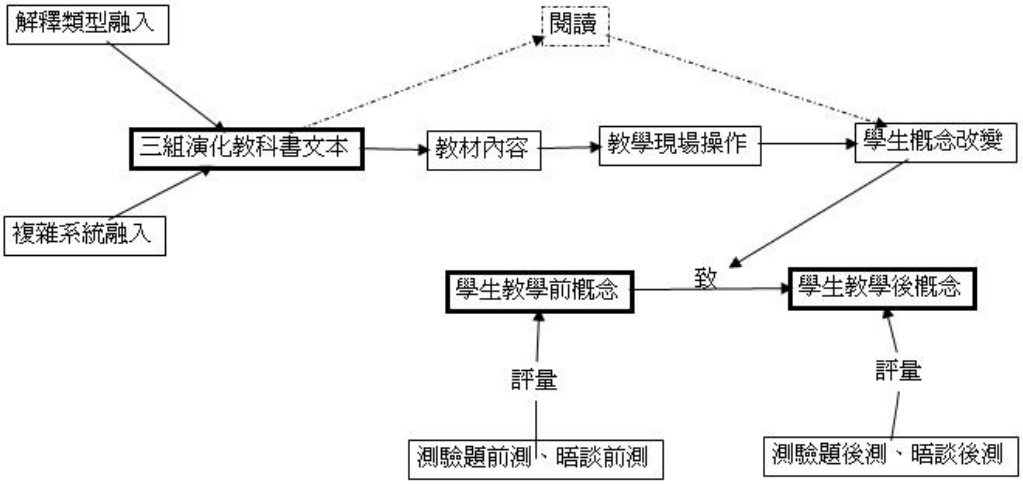


圖 4-5-1 教材內容與學生概念改變的因果機制

一、國 E 進步歸因

國 E 未參加前測晤談，而在測驗題成績進步最多的兩位：代號 706up03、706up26，其在晤談的表現出的概念模式，如圖 4-5-2 分別屬於模式 H（完整的單因子天擇）與模式 G（不完整的單因子天擇），他們兩位加上後測已移除用進廢退的 70637、70615、70638，這 5 位同學的晤談資料，或許可作為進步歸因的佐證。

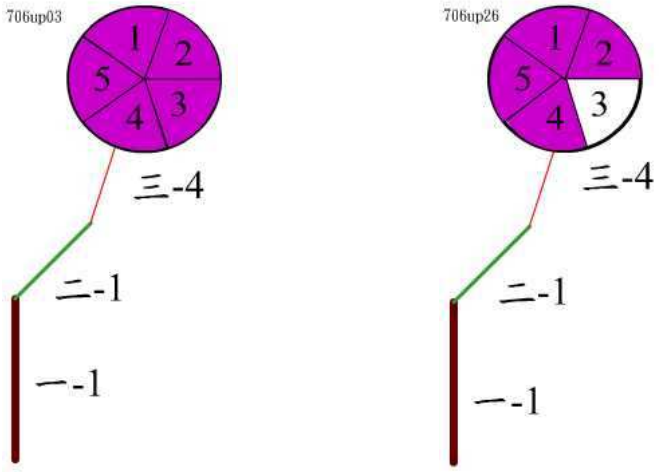


圖 4-5-2 國 E 兩位進步組成員的概念模式

就印象深刻的內容而言，70615 和 70638 主要針對教材呈現：表格化、豐富的內容，進步組的兩位則明確提到：兩個層次的解釋（706up26）或天擇理論（706up03）。其他未達最佳模式的同學則注意到教材中所討論的例子，例如 70608 提到「北極熊那個」。

用那個表格來分，表格．．．演化．．．(70638)

多了比課本 [指國中現行自然與生活科技下冊] 更詳細的解釋．．．．．．．．還有．．．．．．．更多的補充。(70615)

就是～呃．．．為什麼要跟為什麼能的問題吧！因為之前沒有學過這些東西，就是不知道要以哪個方面的．．那個．．角度去問為什麼可以演化，就這樣。(706up26)

有那個不同、不同種類的那個．．．就是因為牠如果要適應環境啊，會需要就

是有時後因突變就會比較那個．．．比較適應環境，然後能夠適應環境就會繁衍更多的那個（706up03）

北極熊那個。（70608）

就演化的兩個層次解釋上，這個問題主要是看學生在後測時，能否記得上課中所強調的功能性解釋：回答「為什麼要演化」的答案，以及機制性解釋：回答「為什麼能演化」的答案，兩者的不同。如果進步組的同學能記得這兩個層次的解釋，並說明出差異，或許其進步便是來自於此。結果顯示，706up26、706up03、70638 等三位可直接回答這兩個解釋及其不同，例如上述的引用 70626 主動指出這是他印象最深刻的內容，又如下方的 70603 的謄錄資料。70638 在經過提示後也能回答出來，但其他同學不是不記得這兩個解釋，便是說不出這兩個解釋的差異。顯示記得這兩個解釋，或許的確有助於天擇概念的學習。

T：那你能不能說看看？關於這兩個問題不同的地方在哪裡。

70603：．．．為什麼要它．．．就是說．．．牠為了．．．就是要適應這個環境，然後對他有好處；然後為什麼能喔它就是因為牠．．．在有競爭者的時候有時候會用那個．．．突變，或是．．．或是一些遺傳什麼，就會．．．就會那個．．．繁衍出更．．．比較適應環境的後代。

前文提過，由於現實因素，國中各組在前後測期間，除了接受筆者的實驗教材教學之外，也有一節課的時間，由班上原有生物教師（三班的教師同一人）進

行了天擇的教學（翰林版），這也造成了前、後測進步歸因的困難，為解決此一問題，筆者也問了學生：「與原有生物老師所上的演化有何不同」這個問題，底下所呈現的前四句晤談資料，70638 意指筆者的教學著重在演化機制的思考，而兩位進步組則直指「為什麼能與為什麼要」兩個層次的解釋。另外 70640 的「說不出來」或許代表其都未聽課，也因此完全沒有進步。

以前的演化直接講，那．．．就是老師 [筆者] 的話，是．．．就是讓我們去想說它應該要怎麼去演化過來。（70638）

呃～不太一樣，因為就是你是教為什麼可以跟為什麼能，可是課本上面只有說、它～會演化，然後演化成什麼樣子，沒有那麼詳細。（706up26）

上演化的時候就會比較更深入的去探討說．．．每一種說法。就從天擇說好了，用進廢退說，就每一種說法的．．．那個．．．的．．．意思是什麼，就是．．．說他們為什麼能夠、為什麼能夠像他們說的那樣的演化，（706up03）

你有把它．．．整理以後．．再把知識傳授給我們。（70615）

然後你的話可能就是．．．就是比較多元，就是．．．就是提到這個的話會提到另外一些也是關於這個的事情（70608）

說不出來（70640）

由國 E 學生對上課內容的回憶，或許可看出學習的成效來自於的確上課時

有吸收到一些內容；而 70640 似乎對上課內容毫無記憶，難怪前後測間概念模式維持在「知道演化朝有利方向，但不知機制為何」而無進步。

二、國 C 進步歸因

國 C 未參加前測晤談，在測驗題進步最多的兩位：代號 701up06、701up32，其在晤談的表現出的概念模式，如圖 4-5-3 分別屬於模式（完整的多因子天擇）與模式 F（混合型），由於 701up32 雖然在測驗題表現進步（18 題中原答對 7 題，後測時答對 13 題），但其晤談所診斷出來的結果顯示出其概念模式仍屬混合型，是為少數測驗題與晤談結果評量不相符者，在此以較詳細的晤談資料作判斷，將 70132 列為未進步者。因此本組進步歸因的資訊將來自 701up06 再加上加上後測達到正確模式的 70129（模式 H）、70130（模式 I）70138（模式 I）等三人。

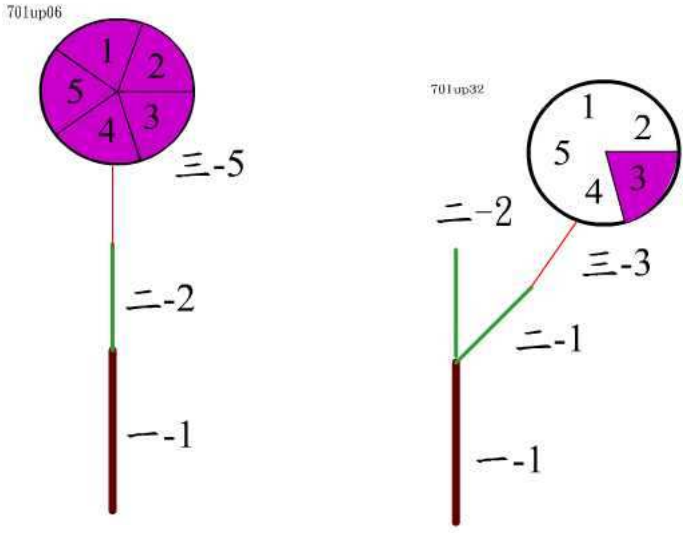


圖 4-5-3 國 C 兩位進步組成員的概念模式

就印象深刻的內容而言，本組的學生幾乎都是注意到教材中，所討論的例

子，包括最後達到正確概念模式的 701up06、70129、70130、70138 等四人例如底下的晤談資料：

為什麼魚在黑暗洞穴裡頭然後眼睛會退化，當人類滅絕後，哺乳類老鼠會進化成猛鼠（701up06）

FISH 的那個到洞裡面，然後眼睛不見了（70138）

會齧齒類會變成猛鼠，然後還有很多關於那個達爾文的天擇說，還有一些演化的概念（70129）

關於長頸鹿或是那種北極熊為什麼那個毛是白色的，然後更進一步了解到以前不知道的事，現在比較多一點了解（70130）

有魚啊在完全沒有光線的洞裡然後眼睛會退化，就是那個啦！還有就是猛鼠（701up32）

長頸鹿的那個（70135）

長脖子的那個長頸鹿跟短脖子。就是它們…因為長‥長脖子的長頸鹿就是‥因為短脖子的長頸鹿只能那個吃…吃那個地面上的那些食物，因為它們是短脖子所以沒辦法吃到樹上阿…什麼樹上之類的東西，所以可能就是會‥就是結果慢慢演變成長脖子的，只剩下長脖子的長頸鹿（70127）

猛鼠那一課。（70107）

像長頸鹿阿！牠的長短為什麼最後長的會下來（70104）

只有一位同學 70105 明確提到了多因子複雜概念，如底下的引文，不過對照的結果，70105 的概念模式雖由 E 進步到 F，但仍屬混合用進廢退的錯誤機制觀念，所以可知，即使「多因子互動」的觀念存在，但並不足以移除用進廢退的想法。

應該是長頸鹿的問題吧！長頸鹿我以前只有想到說只有長脖子才能存活下來，可是後來你又講了．．後面又有什麼環境因素什麼的，然後．．．就．．印象深刻。（70105）

針對 C 組的第二個問題：「達爾文的理論其實不是一百分，只能說是八十分。為什麼？」，本問題主要是看學生在後測時，能否記得上課中所強調的多因子互動的觀念。結果顯示，70129、70138、701up06、70134、70107 等 5 位回答出「多因子互動」等相關答案。如底下五人的晤談資料，這 5 位中的 70134、70107 晤談後測的概念模式，一個為混合型，一個用進廢退說，似乎說明了擁有「多因子互動」影響演化的概念，並不足以使得學生減少用進廢退的想法。

一個因子，是多個因子互動，不是因為某個原因，所以才．．．生存下來的不一定是真的適合地球環境的。考慮那個天然災害啊，還有氣候問題，反正還有很多因子互動（70129）

多因子啊，不應該是什麼…總之他就那個部分變成不是只有一個原因，然後是有

各方面的原因。(70138)

…不一定是這樣，還有很多因素考量，所以演化很難預測(701up06)

不一定每一種生物都跟他說的一樣，那個、也有可能會有其他狀況(70134)

突變．．．呃．．．少了那個．．．那個．．．．其他未知的因素。(70107)

但也有一些人忘了這個課堂上談過的概念，例如 70130、70105、70135、70127、701up32 等人，這其中 70130 屬於在後測時能達到概念模式 I 者。

國 C 所注意到的與國中老師不同地方，都集中在教學的詳細程度與教學方法，這並不足以說明 C 組複雜系統融入的教材好壞。如底下的引文：

你上課內容比較深入(70129)　(70130)

你就是就是全部專門講演化，然後張老師就是他比較大範圍的演化比較沒講的那麼細，比較比較簡單的帶過去吧！(70138)

你的比較詳細(70134)

會教的比較深入，而且還會講一些課外題。(70105)

他上的感覺內容都比較死板比較沒有假設性，然後上這個話就是你會知道比較多的內容，然後就是那些演化過程，嗯！有些不一定是…嗯一樣的(70135)

張老師的上課內容比較沒有像這種內容這麼深入，然後．．也沒有那麼多假設

性的問題（70107）

會有補充一些‥然後課外的就更深一點的演化論！（70127）

有很多題目都讓我們親自想！講的比較更仔細一點，想的東西也很多（70104）

國中就是他比較快跳過去，然後就是上一上過去，比較少會讓我們發表意見。

沒有那麼深入的探討（701up32）

他比較沒有那麼深入，就是沒有老師講的那麼詳細（701up06）

雖然有 4 位同學在 C 組的教學之後，達到正確完整的天擇機制想法，且其中有 3 位最佳的多因子天擇想法。但相對的還有 6 位有著用進廢退機制或混合型看法(還有 1 位晤談者屬不完整天擇), 這 6 位中不乏以獲得多因子天擇觀念者，因此似乎可得一結論：只進行複雜系統融入，不易使學生移除用進廢退的想法，這其實還頗符合筆者原有的預期。

三、國 EC 進步歸因

國 EC 未參加前測晤談，而在測驗題成績進步最多的兩位：代號 710up28、710up41，兩位在測驗題的表現都是由前測的 10 題進步到後測的 16 題答對，且選擇多因子答案的題數分別是 15 和 14 題。在晤談的表現出的概念模式，如圖 4-5-4 所示分別屬於最佳的模式 I（完整的多因子天擇），測驗題和晤談所得結果十分吻合。因此本組進步歸因的資訊，將來自這兩位再加上後測達到正確模式的

71011（模式 H）、71021（模式 H）71040（模式 I）等共 5 人。

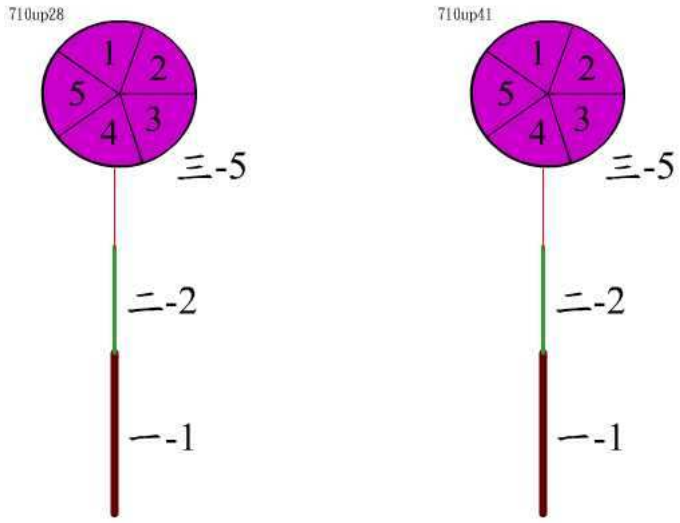


圖 4-5-4 國 EC 兩位進步組成員的概念模式

就印象深刻的內容而言，國 EC 的學生有些注意到教材中所討論的例子或教學的方法，如底下的引用資料：

預測老鼠會成為比較主要的哺乳類動物（710up41）

會有題目，然後會有自己的想像空間，就是沒有固定的答案（71040）

老鼠那個牙齒變長吧，有關於動物的一些演化過程，如北極熊！（71038）

老鼠、長頸鹿的脖子為什麼是長的、洞穴的魚的眼睛（71037）

鼠類會變越變越大然後成為掠食者（71033）

天擇說還有…還有那個..就是有很多不同說法（71029）

長頸鹿吃到樹上葉子，然後．．．還有那個．．．未來老鼠可能會變成盲鼠，還有．．．洞．．穴裡的魚為什麼會盲眼（71021）

老鼠演化成大的像豹的過程（71006）

有些則明白指出學習到天擇機制，也移除掉用進廢退說想法，如底下的資料：這其中包括最後達到正確概念模式的 71040、710up28、71011 等四人例如底下的晤談資料。雖然 71015 也是提到天擇機制，不過他只有提到名詞，有可能只是對名稱有印象，但對內容不了解，這可能也是 71015 的概念模式只達到混合型，仍受用進廢退影響的原因。

講解一些...一些生物它適應環境的內容，還有天擇說之類的（71015）

在洞穴裡的魚為什麼會變成盲眼魚。中途裡面有一些魚基因突變，變成沒有眼睛，後來那個在繁衍的時候就繼續繁衍下去，就有眼睛的可能就有些就會不容易成功就會死掉（71011）

會因為我的想法本來就比較接近拉馬克的那個用進廢退說，就是在上那個廢除用進廢退說的時候有比較修改過自己的想法（710up28）

就是那些什麼盲眼魚是要經過基因突變的，那我本來以為是他要用它就留著不要用它就廢除（710up28）

因為通常我們只會想到為什麼會，但是沒有想到說它為什麼可以變（71040）

這三次上課的內容就是主要是幫我們改變，就是之前孟德爾比較錯誤的一些觀念（71040）

針對 EC 組的第二個問題：「達爾文的理論其實不是一百分，只能說是八十分。為什麼？」結果顯示，710up41、71040、71021 等 3 位能夠回答出筆者所希望聽到的「多因子互動」等相關答案，如底下的晤談資料，這 3 位中的 710up41、71040 後測的概念模式亦為多因子天擇，而 71021 的為完整單因子天擇。其他同學則都是表示忘了或是說不出來。

因為還有非常非常多的因素，並不是就是要看如果那個時候，像是長頸鹿，如果那個時候就是啊那個環境沒有很多草可以吃，那剛好脖子比較長的長頸鹿就可以吃到葉子所以它能夠生存下來，可是如果環境改變，那個環境變成就是草是比較多的環境，然後葉子沒有這麼多的話，那短脖子的長頸鹿就會變成現在的長頸鹿（710up41）

好像是因子之間的互動方式沒有辦法那麼確定（71040）

少了．．．多方面的思考（71021）

就演化的兩個層次解釋上的回憶上，結果顯示這 5 位達到正確模式者：710up28、710up41 可不經提示自行說出兩層次解釋的名稱和不同，甚至 71040 直接表示這是其印象最深刻的內容之一，而 71011 和 71021 則在提示之後可以說出。但是後測未達正確模式的 71037、71006 也可以說出兩層次解釋的不同，因

此意識到兩層次解釋的不同，似乎並非造成學習成就差異的主因。

國 EC 所注意到的與國中老師不同地方，主要也都集中在教學的詳細程度與教學方法，只有 710up28 特別提到這份新課程，讓其發現之前有用進廢退的想法，而這是原有課文教學無法提供的省思機會，如底下的晤談文稿：

> 在上的時候就沒有特別提到那個就是向猛鼠阿那些為什麼會演化成什麼樣子，所以我就特別沒有去注意這些，然後後來考試的時候才發現像這方面的題目都是用進廢退說的想法，然後就學的很爛（710up28）

達到正確完整的多因子天擇或單因子天擇模式的 5 人（含進步組的兩人），都記得課堂上所教過的「兩種解釋類型」，其中也有 3 位記得「多因子互動」。不過也有部分未達正確模式的 71037、71006 可說出兩層次解釋的不同。看到在該組教學中，兩層次解釋類型的教學給學生的印象深刻，但為足以確保學生達到最正確的演化概念模式。

四、高 E 進步歸因

高 E 未參加前測晤談，而在測驗題成績進步最多的 3 位：代號 106up07、106up08、106up12，其概念模式，如圖 4-5-5 分別屬於模式 H（完整的單因子天擇）與模式 I（多因子天擇），他們 3 位加上後測達到完整單因子模式模式的 10611、10617、10619、10635（如表 4-4-1：10621 雖也達模式 H，但其前測時已屬模式 H，故其成就不可歸因到教材內容，故在此不列入），這 7 位同學的晤談

資料，或許可作為進步歸因的佐證。

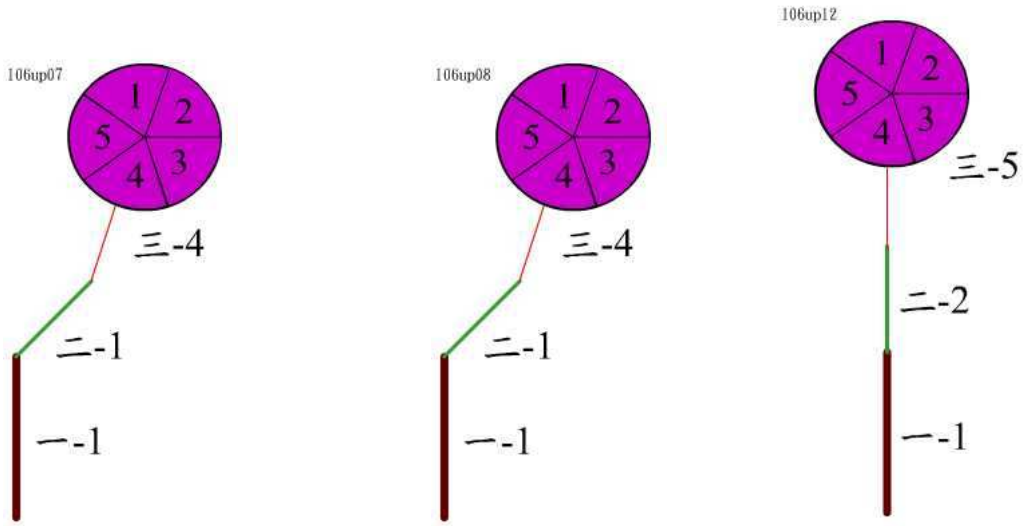


圖 4-5-5 高 E 三位進步組成員的概念模式

就印象深刻的內容而言，除了提到教材中所指的例子之外（如 106up08 和 10619），106up07、106up12、10621 等三人明確提到使之概念改變的內容，是其最有印象的。10617、10621 兩人則是對天擇說印象深刻。

例子都非常的多，好像覺得生物就是那種…很讓人出其不意的變化方式。（106up08）

應該是…北極熊（10619）

我可不可以說是我的想法有改變了…就是像以前就是很習慣就是這樣子，可是上完課就知道原來是因為有這樣子的事情發生，所以才會演變到後來，演變成那樣子，就自己的想法有變。（106up07）

長頸鹿…就是…嗯…因為以前都覺得說…好像是因為…就是…因為要吃葉子所

以脖子才變長，然後上完課之後就比較了解…就是…就是…嗯…沒有那麼簡單。（106up12）

能讓我學會分辨用進廢退說和天擇說的差別，自從老師上完那堂課之後，就能很明確知道該怎麼分辨兩個（10621）

達爾文的那個天擇說，就是…嗯…就是，就覺得…很有道理（10617）

就是…基因改變，然後…就是…天擇吧，然後一些…一些生物的進化阿，對阿，就這樣子（10635）

就演化的兩個層次解釋上，晤談結果顯示，7 位都可直接或經由提示之後回答這兩個解釋及其不同，例如 10621 和 10635 的晤談資料所顯示。未進步到完整模式的 10605（後測時維持模式 G），也能說出兩層次解釋的不同，不過 10605 雖然未進步，但其並沒有用進廢退的想法。在 106 後測當中唯一還有用進廢退想法的 10631（見表 4-4-1），則無法表達出兩個層次差異，見底下最後一段引文。總結起來，能說出兩層次解釋差異者，就移除了其原本具有的用進廢退想法（如 10611、10617、10635），不記得兩層次差異為何的 10631 則無法移除其原本有的用進廢退想法。因此，知道演化兩個問題「為什麼要」和「為什麼能」不同者，或說是知道功能性和機制性解釋有所不同者，可能的確較易移除用進廢退的錯誤機制概念。

T：嗯…嗯，那我在上課有強調演化有兩個問題，就是…

10621：為什麼要還有為什麼能。

T：能區別一下這兩個為什麼，區分一下這兩個有什麼不一樣？

10621：嗯…我回想一下喔…為什麼要就目的嘛，為什麼能就他所、他要達成目的的方法。

T：我在上課有強調說…演化其實有兩個問題。

10635：呃…是為什麼要跟為什麼能嗎？

T：那這兩個你可以分別有甚麼不同嗎？

10635：呃…要的話是…嗯…就是有利於自己，對…然後，能的話就是因為基因的改變，就這樣子。

T：你剛剛有講為什麼，我上課講過說當我們講演化問題的時候有兩個為什麼，是哪些為什麼？

10605：為什麼要演化、還有…如何演化嗎？

T：為什麼能夠演化，這兩個有什麼不一樣？

10605：為什麼要演化是往比較有利的方面，然後為什麼能演化呢…這個是為什麼他能改變

Ｔ：那我在上課有強調，演化其實有兩個層次問題。

10631：嗯。

Ｔ：哪兩個？

10631：一個層次是那個…我只記得第二個，第二個是，就是…基因已經突變，就突變完了。

Ｔ：你剛剛講的是答案，我現在說…我們問的時候，演化有兩個…一個為甚麼？一個為甚麼？其實有兩種回答的方向，第一個是為什麼什麼？

10631：一個是基因…不同，另外一個是…環境吧。

前文提過，高中學生代表的是已經學過演化的學生，為比較本研究所訂的演化教材與其國中演化教材之不同，因此在後測晤談時，要求學生針對：「與國中的演化課程有何不同」問題加以回答，大部分學生的反應都是：比以前討論的詳細、引用例子比較多、或是教學法不同。不過 10605 特別提到「為什麼要」、「為什麼能」，如下之資料：

不同點喔…多了很多麻煩的過程，以前國中只要記說呢，那四項而已，現在又增加什麼，為什麼會這樣，為什麼要這樣，還有寫一大串的東西（10605）

由本小節的結果討論，筆者可以得到推論：「高 E 的解釋類型融入演化的教

學，有助於學生移除用進廢退的想法，但無法使之達到多因子天擇的最佳模式」。證據來自達到單因子天擇模式的 7 位同學，都記得兩種解釋類型及其間不同，不記得者如 10631 則仍停留在混合型天擇模式。

五、高 C 進步歸因

高 C 未參加前測晤談，而在測驗題成績進步最多的 3 位：代號 108up07、108up34、108up38，其概念模式，如圖 4-5-6 屬於模式 I（多因子天擇），不過 108up34 雖然具備多因子天擇的概念，但他無法回答「生物變異由何過程產生」，缺乏「變異來源」的天擇要件概念，這是所有晤談學生當中唯一的例子，因此本研究並未對此類學生，另外做出一個分類，其仍屬於模式 I。本組在後測晤談中，所有學生都已到正確模式，因此進步組的 3 位加上後測有顯著進步的 10802、10809、10810、10813、10829、10833 等總共 9 位，將被作為進行進步歸因的指標人物，這其中 10802、10810、10833 等 3 位只進步到完整或不完整的單因子天擇模式，可另和其他進步的 6 位進行對比，以確定多因子概念學習的來源。

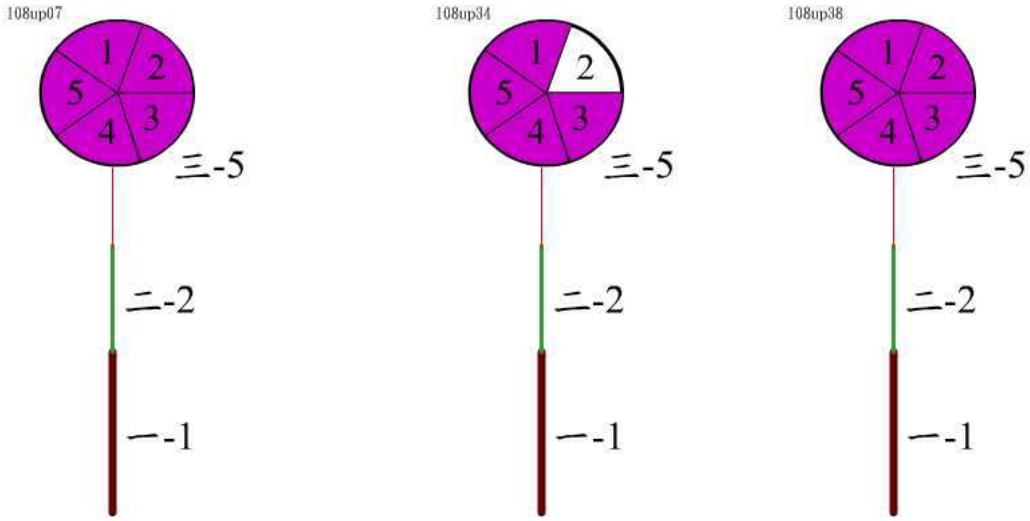


圖 4-5-6 高 C 三位進步組成員的概念模式

高 C 組對於教學內容印象最深刻也是以例子為主，大部分同學都表示對教材中所舉的「猛鼠演化、北極熊」等印象深刻，不過也有 10829、10821、108up07、108up34，明確指出對複雜組教材中「許多因子互動」、「難以預測」印象深刻，如下之晤談資料：

後面的演化都不一定，就是很難去預測它變化是怎麼樣，然後，就是以前一直以為就是…可能是什麼有利它就會演化成什麼樣，可是後來想說不一定會是這個樣子，它變化很難去預測。（10829）

基因的演化，也就是天擇說裏面的基因的演化，還有那個…其他因素、其他因子的影響那些的。（10821）

每個演化過程都要看環境是怎麼樣，然後幾乎都不一定欸（108up07）

就是不確定因素那邊，因為就是如果不確定的話，再多預測也沒有用（108up34）

就傳統對天擇討論的不足處，有 5 位學生能提到「許多因素要考慮」的複雜系統重要特性，如下方的晤談資料，但是能明確說出「多因子互動」特性的的 5 位中，10802、10810 並未達到多因子天擇的概念模式，只進步到單因子天擇。

考慮因素太多。在演化的時候還要考慮些其他…譬如說像環境啦、掠食者啊、還有一些那個…一些突發因子那些的…突發因素（10821）

讓我們知道說…就是，他未來將是不可預測….才知道原來這些因素還有別種更多不可能的，就是不、不同因素這樣子（10813）

哦！有因素是不是？要各種因子要綜合起來才可以（10810）

比如說還有一些其他的因素啊，沒有考慮到（10802）

還有一些因子他沒有考慮到像說，適者生存那就是一種天擇，那現在可能還有人擇，那未來可能還有、不是人、還有其他生物可以去決定、去干擾一切，那所以就是他沒考慮到這個（108up38）

大多數的本組學生都認為這次的演化教學內容比國中詳細深入，不過也有達到多因子天擇的 108up38 明確指出複雜組教學內容比起國中，要考慮到許多因素、某生物的演化未必一定發生、演化是不可預測的，如下之引用資料：

比較細，還有講到一些國中我們想都沒想過的觀念，就是像說是演化是根本沒辦法預測的，因為要考慮的因子太多，那國中就是講說只要考慮那些因子就

好，那大概都可以推出怎麼演化，到高中的話就是聽老師這樣講以後，才知道、啊、要考慮這麼多因素都根本沒想到，後來才知道演化都是不可預測的，除非是所有因子碰到才有可能去推測一下，他可能是怎麼演化的，不然就是沒有辦法接下去的（108up38）

雖然本組許多同學在後測時都表現出擁有「演化是多因子互動造成的結果」這個概念，且大部分同學都已到達「多因子天擇」的概念模式，但筆者無法做出擁有「演化是多因子互動造成結果」的概念，就一定可以進步到「多因子天擇」這個概念層級，因為某些同學擁有「多因子互動」的想法，卻只有「單因子天擇」的概念層級。另外本組學生（108up34）出現了概念隸屬多因子天擇模式，卻少了一樣天擇概念要件的現象，這可能是因本教材雖然有提到達爾文的五項天擇要件概念，但不像 E 組這麼詳細所導致。

六、高 EC 進步歸因

就筆者的預期，高 EC 應該是進步最多的一組，一方面是因其認知能力較成熟（相較於國一學生），一方面也因其教材中，同時有複雜系統觀的概念及解釋類型的強調，不像 E 或 C 組各缺乏一項。結果也的確吻合，扣除完全沒進步的 10710 不提，其他同學都能進步到完整單因子或多因子天擇模式。本組的三位進步最多同學，如圖 4-5-7 所示的 107up05、107up12、107up35，概念模式分別達到 H、H、I。因此底下可以進行兩個比較：完全沒進步的 10710 和其他人對課程

的印象；只達到 H 模式者（107up05、107up12、10728、10734）和達到 I 模式者的比較（107up35、10703、10706、10722、10727、10738）。

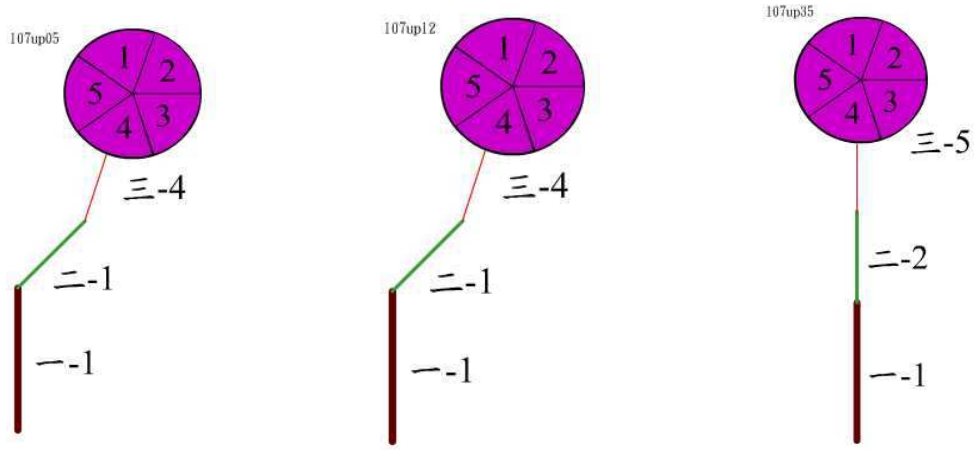


圖 4-5-7 高 EC 三位進步組成員的概念模式

在印象深刻的內容上，不意外的，10710 完全誤解了上課內容，誤以為上課的內容是用進廢退說，如下的晤談資料，其實就筆者上課的經驗，該名學生大部分時間並未參與學習（打瞌睡），所以未進步也合理，

T：對上課印象深刻的內容？

10710：就是，一直重複用進退廢說

T：重複用進退廢說嗎？例如？

10710：例如什麼，魚阿，在水裡游泳不用就退化那些

T：但是，上課是講用進退廢說嗎？

10710：不是，是淘汰吧，我記得那個魚是退化

參考底下的晤談資料可知：進步到單因子模式者的 4 位中有 3 位，其印象深刻內容為：解釋類型差異（如 10728）或天擇與用進廢退差異（如 107up05），甚至 107up12 明顯透露出以功能角度解釋如何演化是錯誤的，表示對這三位同學而言，以解釋類型看演化的正確機制，對其影響深刻，以致於使之可進步到單因子天擇模式。另外一位也屬進步到單因子天擇模式者，惜言如金，只回答「演化」二字而已。

為什麼能跟為什麼要（10728）

應該是探討平常人對用進廢退說還有天擇說的盲點，就是我們一般都會導向用進廢退說，可是事實上生活演化卻是依照天擇說來進行，大概就是這一方面印象最深刻（107up05）

用功能來決定演化是錯誤的，用複雜的演化論跟達爾文的是比較正確的，所以不要用功能的角度去想如何演化，然後如果要演化的話，一定要有新的不同種的出現，才能演化出新的種（107up12）

不過進步到多因子天擇模式者，也有些注意到天擇機制，只有 10703 提到「複雜性」一詞。如底下的晤談資料：

要有個體差異才能基因突變，才能適應新環境（10727）

得到後先性狀不得遺傳的觀念（10706）

多樣性複．．複雜性（10703）

在演化的兩個層次解釋上，10710 不出意料的完全講不出來，但特別的是 107up05 也記不起來，其他同學則是能夠主動講出或是經過提示之後說出來，如底下 10728 的晤談資料：

T：嗯嗯，怎麼說？這兩個有什麼不同嗎？

10728：你．．你是說．．什麼意思？

T：為什麼能跟為什麼要．．它們兩個區別是什麼？有什麼不一樣？

10728：區別．．就是．．．為什麼能是．．

T：嗯哼

10728：等一下．．．．為什麼能．．．．．為什麼可以．．．．耶！我有點忘記了耶！

T：呵呵，忘記了！

10728：我知道為什麼．．為什麼要

T：喔，為什麼要

10728：為什麼要，就是因為它們．．就是必須適應環境，必須生活下去，所以必須要這樣子！

T：對對

10728：可是．．．為什麼能．．．就是．．可能是．．那個．．．物競天擇說，就是當．．當初有兩種基因，　然後只．．只有一種那個可以活下來！

當問到是否有多因子想法時，令筆者興奮的是，除了沒有進步的 10710 之外，只進步到單因子天擇的 10734、10728、107up05 都表示忘了或說不出來。而除了 10703 表示忘了之外，其他進步到多因子模式的同學，都能說出「多因子互動」的想法，這些大致符合預期，比較不符合預期的是 107up12，他記得「多因子互動」，但他只進步到單因子天擇模式，如底下的晤談資料：

沒有全盤的解釋那些演化，要考慮的因素太多了吧！我們也不知道當時的情況就是我們預測的情況（10738）

運氣吧，環境的變化應該有可能（10727）

只是天擇說，它只有考慮．．．它只有考慮到某些層面的東西阿！（10706）

單方面討論東西的時候，就會忽略掉其他東西（10706）

因為不確定因素太多了…對（107up35）

因為有新的複雜的演化論，他彌補了多因子互動，更完整更多方面去解釋演化的問題（107up12）

在「與國中的不同」方面，大致上都提到這次教得比較詳細和深入，但也有提到一些解釋類型或是多因子互動的概念：

比較有深入探討，如像是生物是為什麼要為什麼能這樣子（10738）

不一樣的地方…我想想…就是沒有講得那麼詳細，就是說還要先有什麼有突變種，然後還要比較牠的生存率之後，才會演化到下一代，國中沒有講那麼多，國中只是講說有用進廢退說跟天擇說這樣子而已（107up35）

是深度和層面就不同，因為國中的演化是，很簡單的就帶過去，讓我覺得，那時候演化就覺得好像就這樣，那麼簡單，因為生物物種好像經過很長的時間，牠就一定會發生什麼變化這樣之類的，不然就是因為牠很適應那個樣子，所以牠就不會產生變化，可是在高中，上到演化就發現有很多的因素，像是，基因突變，或是，不管是外在的環境或是內在的因素，都可能促成演化的發展，對，然後就同時像是讓我釐清了用進廢退說跟天擇說的概念，像我在生…國中生物學的時候，，並沒有想到說原來在現實世界中很容易把它們搞混，然後在課本上看到時候就知道那是錯的，可是自己實際上在用的時候竟然就是應用到錯的…對，然後就會覺得高中果然學的比國中還要多…對。（107up05）

七、進步歸因小結與演化教學的討論

1、 解釋類型與演化概念改變

就筆者在「解釋」、「機制」文獻探討得到的啟發，筆者建立的理論架構，如圖 4-5-8 所示：演化是一種自然界發生的現象，這個現象可以透過化石或現代的分子生物學等證據被觀察到，但最常被觀察到的是生物某一特性與環境的關係，

例如極地的動物，不論是北極熊、極地狐、雪兔等都是白色的，沙漠中的植物葉小莖厚。為了要解釋這種生物與其環境的特殊相關，生物學家常使用功能性解釋：「為了要適應極地的雪白環境，動物演變成白色，以掩飾蹤跡」、「沙漠中的植物為了保持水分，所以葉子變小」，依（Salmon，1984，1989，1998）歷年來對解釋的探討（見第貳章），功能性解釋與目的論解釋都有朝特定方向的本質，對於演化現象而言，功能性解釋所指的的「方向」是朝著「對自己有利」的角度，而目的論解釋所指的「方向」是某種實體有意識傾向的目標，如創造者的意旨或是生物體內部不知名的本質。功能性解釋被 Salmon 認為是屬於科學解釋類型之一，和目的論解釋不同，後者涉及主動的意識傾向，不屬科學解釋。

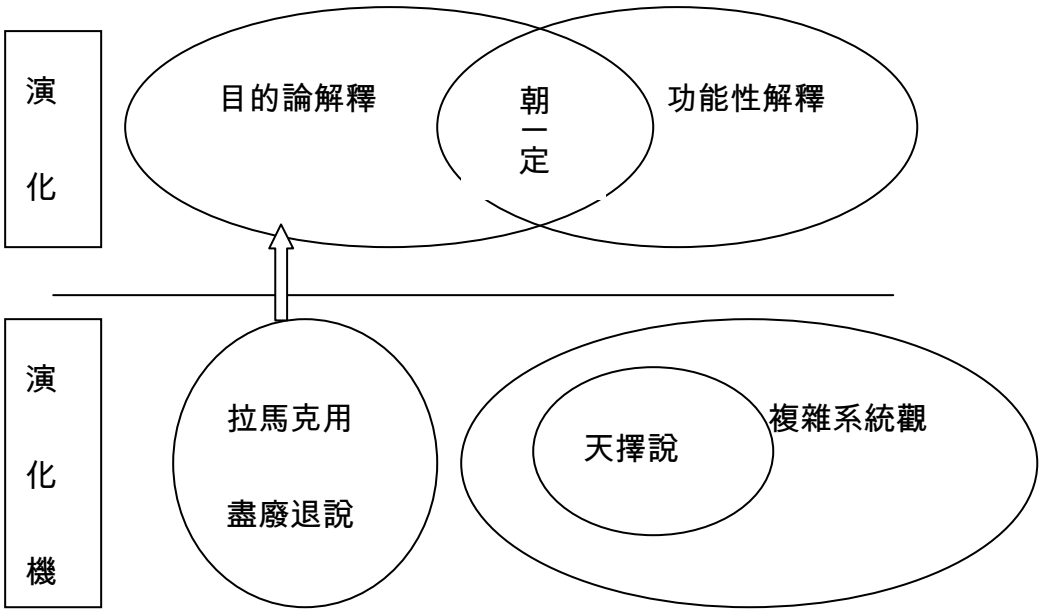


圖 4-5-8 對於演化的解釋分類

一般公民或學生所直接觀察到的是演化現象，也就是在現象層次上的演化問題，尤其是特殊環境與生物的特殊性狀的相關。通常回答這個問題，其實也就是回答「為什麼要」的問題，用功能性解釋回答是合宜的。不過這個回答有時難以和目的論解釋區分，因為雙方都有朝特定方向的本質，兩者有重疊的部分，要區隔兩者，必須進入到另一層次的討論：成分機制層次，也就是造成現象之所以發生的背後機制。以拉馬克用進廢退機制來說明演化現象發生：因為使用而使特定性狀一定發展出來，或是因為不使用，使特定性狀一定會逐漸消失，這種機制解釋暗示著生物體內有一股不知名的本質，使得演化現象得以發生，也因此以用進廢退機制所做出的演化解釋，將會造成現象層次上的目的論解釋。

而以天擇說做演化機制的說明，彰顯了生物往特定方向演化並非體內有特定莫名的能力，而是天擇使然。或是用本研究所引入、包含更廣的複雜系統來做演化機制解釋，也凸顯了生物未必一定能往特定方向演化的實際現象。無論是天擇說或複雜系統觀，兩者都算目前對演化的最佳機制性解釋，搭配著現象層次的功能性解釋，兩種解釋分別回答了「為什麼要演化成這樣」與「為什麼能演化成這樣」的演化問題。

但由於目的論與拉馬克機制的緊密相關，以及功能性解釋與目的論解釋的重疊，學生可能會以拉馬克用進廢退來滿足演化現象的功能性解釋所需要的機制性解釋，這也造成了學生心中拉馬克迷思的難以移除。本研究所採的理論架構是如果學生能分清楚「功能性解釋」與「機制性解釋」的不同，也就是「為什麼要」

為什麼能」的不同，則將可以切斷功能性解釋與拉馬克機制說的緊密相關，而比較能以天擇或複雜系統觀來做機制性解釋。

要回答「釐清兩機制解釋的不同，便可移除用進廢退的機制觀」這個假說，本研究使用的方法，是在 E、EC 組教授「為什麼要」與「為什麼能」的不同，這兩組學生如果在後測時進步大或是移除了前測所出現的用進廢退觀，且發生這些概念改變的學生，對「兩種解釋類型及其差異」印象深刻或能說出兩種解釋類型差異的話，則可能其概念改變便是來自「兩種解釋類型及其差異」的認識。

結果顯示國 E 有一名進步組學生對「兩種解釋類型及其差異」印象深刻，含進步組在內，5 位在後測已移除用進廢退想法者，有 3 位能說出「解釋類型差異」，而未得到天擇想法者，都無法說出「解釋類型差異」。高 E 組能移除用進廢退的 3 人加上進步組 3 人共 6 人，在後測時能說出「解釋類型差異」。唯一未移除用進廢退想法的 10631，則無法說出「解釋類型差異」。高 EC 組進步到單因子模式者的 4 位中有 3 位，其「解釋類型差異」印象深刻；所有進步到正確模式的成員中，也只有一位 107up05 無法說出演化的兩個層次解釋上。由國、高 E、高 EC 的結果看來，的確「解釋類型差異」有助於移除用進廢退觀念。但國 EC 雖有一位達到正確模式者，直接表示這是其印象最深刻的內容之一，大部分也能說出兩層次解釋的名稱和不同，但有 2 位後測未達正確模式的 71037、71006 也可以說出兩層次解釋的不同，成為本假說的反例。

雖然有反例的存在，不過大部分能說出解釋類型差異者或印象深刻者，都移除了用進廢退觀念，而未能移除者，也只有這兩個例外，其他都不能說出裡層次解釋的不同，因此筆者可得一結論「解釋類型及其差異的學習，大致上有助於學生移除掉用進廢退，而進步到正確的天擇概念模式」

Abrams & Southland（2001）曾提到學生常用回答「why」的答案，來回答「how」的問題，以本研究的界定，便是以回答「為什麼要」的答案，來回答「為什麼能」的問題，屬於無法區分功能性與機制性兩種解釋類型不同者。本研究中也可發現到這種例子，例如底下 10727 在前測時的晤談資料：

T：那，為什麼它能夠變？

107pre27：嗯…演化吧，就是…為了要適應新的那個，新的環境，對。

……

Ｔ：最適應的狀態就是…以葉子來講的話？

107pre27：就應該是…針狀。就是原本從大的然後越來越小、越來越小，然後一直到最適應的那個…最好的狀態。

Ｔ：為什麼它能做到？它能夠做到這一點？

107pre27：嗯…為了要生存吧。

連續兩次，筆者問出「為什麼能變」、「為什麼能做到」，10727 都以「為了……」這種功能性的角度來回答，比照 10727 前測時的概念模式，也的確屬

於混合型，有用進廢退的想法。但到後測時，已表現出具多因子天擇模式而無用進廢退想法的 10727，可以可清楚區分兩種解釋的不同，並不在用功能性的角度，回答「為什麼能做到」的問題，如底下的晤談資料。

Ｔ：上課有講過演化有兩個層次的問題，還記得嗎？

107post27：為什麼能跟為什麼要吧

Ｔ：這兩個有什麼不同？

107post27：為什麼能是怎麼樣才能去變，那為什麼要是、呃、新的環境吧，才為什麼要變

……

Ｔ：那大象要怎樣才能適應冰河環境？

107post27：大象的話也是跟剛才一樣看有沒有基因突變跟個體差異，有改變的話，能存活下去就繼續存活，那之前的大象就不能適應新的天氣的話，就會被淘汰掉

10727 在前後測概念模式的不同與能否區分「功能與機制」兩種不同的解釋，兩者間有密切的相關性。或許也再度間接為「解釋類型及其差異的學習，大致上有助於學生移除掉用進廢退，而進步到正確的天擇概念模式」這個結論的合理性，提供了一些證據。

2、 複雜系統學習與演化概念改變

依第參章研究方法所示，本次的 C 組教材，也就是複雜系統融入演化的教科書文本與教學內容，主要強調在複雜系統的四特性：

1、層次：現象（可觀察）與作用體（通常難以觀察）

2、突現、難以預測：演化最終結果難以預測。

3、多因子互動：演化過程受許多因素影響。

4、無中央控制：演化過程中，沒有任何一個實體可以用其「意志」或「規則」來主導現象最後的結果。

實際操作後，筆者認為在現象層次上的「突現、難以預測」特性，與在成分機制層次上的「多因子互動」特性，是最容易進行融入教材教學和最容易被評量出來的複雜系統特性。因此不論是在本組教學中、評量學生的概念模式上，與前文所進行的討論，都以「這兩個特性的有無」，與「多因子天擇觀的建立」兩者間的相關性，作為本組成效的歸因。

進行複雜系統融入演化教學的有 C 與 EC 組，不論是從本章第二節測驗題分析結果與晤談後的概念模式分析，都可知道這兩組的教學可以比 E 組的學生，在測驗題上會選擇更多「多因子」的答案，在概念模式上，高 E 組學生只能達到模式 H（完整單因子天擇），但高 C 和高 EC 則有多人達到多因子天擇模式，

可知複雜系統的教學的確有其效果。

在高 EC , 對多因子互動有印象者 (印象深刻或是否能記得多因子互動), 大多數模式屬多因子天擇的同學 , 都能說出「多因子互動」的想法 , 而說不出來者 , 則大多屬於單因子天擇。國 EC 兩位進步到多因子天擇模式者 , 對多因子天擇內容有印象 , 這符合了「複雜系統融入教學 , 可以使學生進步到多因子天擇模式」的研究預期 , 不過在國 C 和高 C , 這種情況較不顯著。

在高 C 對多因子互動的教學內容有印象者 , 有些 (60%) 進步到多因子天擇模式 , 有些(40%)則只進步到單因子天擇。國 C 中 6 位對多因子互動有印象者 , 只有一位進步到多因子天擇 , 而也有一位未對多因子有清楚印象者 , 也已進入到多因子天擇。

總結前面幾節起來 , 應可得一結論 :「對高中生而言 , 複雜系統與解釋類型的共同融入教學 (EC 組), 使學生進步到多因子天擇概念模式的效應明顯 , 但對國中生而言 , 這個效果比較不顯著。」而「單只有複雜系統融入教學 , 而無解釋類型融入 (C 組), 使學生進步到多因子天擇模式的效應較不明顯」

第六節　演化論課文與教學整體討論

教科書是最標準化的學習材料，師生互動的標的，甚至是大多數教師所仰賴的教學資源，教師的授課內容與教科書形影不離；它也是教育目標的反應及學習的基本工具，有著高度的權威，是科學社群現有成員戒律化（discipline）未來社群成員，呈現當代典範的一項工具（Aleixandre，1994；Kuhn，1970；周珮儀，2002；許良榮，1997）。因此早有人投入教科書的研究，以國內為例，至 2004 年止，國內教科書研究的博碩士論文就已達 403 篇，甚至已有研究乃針對這些教科書研究成果進行了後設分析，但在這麼多的文章當中，雖有針對生物課本的探討，但並無針對專門「演化論」議題的研究（趙雅琳，2004；藍順德，2004）。

即使教科書扮演著如此重要的角色，但中外皆然，教科書難免也有錯誤之處（Rees，2007）。本研究亦發現本國教科書在演化部分有一些不周到之處，例如有一版本在同一節中對「生物演化」有兩個截然不同的意義，另一版本則似乎把「天擇說」、「演化論」、「生存競爭」三個名詞劃上等號。

分析教科書的方法有許多，包括內容分析、系統功能語言、問卷調查、訪談、德懷術等（Unsworth，1997，200；李哲迪，2006；趙雅琳，2004；陳世文，2007；藍順德，2004）。本文則採取「解釋」的角度，分析教科書中演化論的內容，包括演化機制解釋、演化論專章裏內容解釋類型以及是否含複雜系統特性。這些分

析反映出不同版本教科書對演化論「解釋」的不同。Archinstein（1997）指出解釋是一種語言行動，是解釋者向某位聆聽解釋者更加詳細的說明某一現象。筆者認為參與解釋的主客體間，具備圖 1-1-1 的關係。

圖 1-1-1 曾說明教科書（解釋者）、讀者（解釋的對象）、自然現象（被解釋物）三者的關係，教科書在解釋自然現象時，可有介於「完全符合真理」和「以理解為最大考量」的解釋。本研究發現了國中版本論述演化機制，大部分以達爾文的天擇說為典範，較少提到現代對演化機制解釋的補充，高中版則都會提到遺傳學對天擇說的補充內容，這或許便是教科書編者因應讀者的認知程度，做出不同的「符合真理」解釋。但以「科學的解釋」和「促進理解的解釋」兩點來看，教科書則少有「促進理解的解釋」，這點似乎又反映出，教科書不以學生為主要標的讀者，甚至老師才是教科書訴諸的標的。這點符合周珮儀（2002）所指：也只有教師能對教科書文本有協商的解讀，教科書並未賦予學生相同的解讀立場。

科學解釋不是單一型態，而具有多樣性（Wong，1996），但本研究結果亦發現，雖然有多種解釋類型，但課文在描述時，採用的解釋類型偏於某幾類，在科學解釋中以機制性解釋為主，在促進理解解釋中以舉例為主，在「非解釋」中以「事實陳述」或「科學史實」為主。在科學解釋類型上，研究結果與 Tang & Chiu（2007）在中小學課程綱要的研究相符，也符合了生物哲學討論中，認為生物學科較少通則性解釋，而較多機制性解釋的說法（Machamer，2004；Machamer et al.，2000；Sterelny & Griffiths，1999；Tabery，2004）。

整個演化專章中，各版本使用最多的是「無解釋」類型，這種類型的敘述，有些「不用管為什麼有這敘述（現象），也不管你懂不懂這敘述，我就是告知你有這些事實」的味道。因此，在演化論現行版本課文內容可以發現到周珮儀（2002）所指的現象：教科書具有獨特的文本特質，而這源自某種文本權威。

教科書有兩種管道可以使得學生概念改變，一是學生自行閱讀（Chi *et al.*，1994），二是透過教師的教學，如圖 4-5-1。因此教科書若以教師為主要的解釋對象，在透過教師的中介，以促進學生概念改變也無不可。事實上，無論資深或資淺老師，都會重組教材來教學，例如資深老師會考量加強學生對達爾文天擇說的印象，將馬的演化往前挪做達爾文天擇說的範例（張賴妙理，1999），周珮儀（2002）也發現到有些教師已經察覺到教科書的侷限，勇於突破與創新。筆者在本研究中實踐這一點，去探討現有課本內容的侷限，修訂出新版本，並將原有文本內容，改組成教學內容探討不同改良版本演化文本的成效。

雖然教師不完全照著教科書的文本教學，但教科書畢竟還是有其權威性。其優勢霸權的文本權威深深地滲透入整個教學過程，整個教學流程大都在逐頁「涵蓋」課本內容，實際教學中缺乏明確的課程意識與目的，而是跟著各科教科書走（周珮儀，2002）。具中小學教學經驗的教師都清楚，教師只能比課本多教些補充內容，不能漏失課本的任何內容。因此教科書應可以提供一個最低限度的內容要求，若複雜系統特性或解釋類型融入演化論文本中，則教師進行演化教學時，便會納入這些特性。

在複雜系統特性的分析中，發現國高中共七個版本的演化論文本，只有 12 個敘述，內含複雜系統特性。雖然在 1993 年已有學者在生物教育期刊上，提及當時最新的演化論研究趨勢，乃以複雜理論來解釋個體的演變（Flannery，1993）。但時至今日，教科書的演化內容，至少國內部分，未將複雜理論引入。可能這與複雜系統以整體論角度來認識現象運作，不同於以往科學界較熟悉的化約論有關（Bosomaier & Green，1998），而國內外科教界對此議題也少有討論（Jacobson & Wilensky，2006；湯偉君 & 邱美虹，2007）。但時至今日，複雜系統的特性也逐漸被掌握，也逐漸被運用到演化機制解釋中（Auyang，1998；Gould，1992；Holland，1992；Sterelny & Griffiths，1999；Waldrop，1992）。因此，在中學教科書演化內容裡，納入複雜系統的確有嘗試的空間與需求。

本研究發現現有中學教科書，在論述演化機制時，皆以達爾文的天擇說為主體。有以下幾點發現結果來證明，國中版本除了國楠版直接提出修正，國教版聲明有修正的需求外，另兩版本完全未提到現代的演化論，且國楠、國教仍有比較大的篇幅在討論達爾文。高中版本都花了很大篇幅討論以科學史角度討論達爾文發展其天擇說的認知歷程，雖有以遺傳理論補充天擇說之不足，但未明言這屬於現代的演化論，也未做其他修正。另外，除了高楠版之外，每一版本都強調了「生存競爭」一詞。筆者認為由「個體差異」「繁殖數量過多」，而衍伸出的「生存競爭、適者生存」的現有教科書採用典範，可能會造成演化是「種內競爭」單一因子的影響，而忽略了演化是包括掠食、種間競爭、環境不定向變化、基因不定向

變化等等多因子互動的影響。今日對演化機制的解釋已不再提到競爭（Krebs & Davies，1993；Beauchamp & Ruxton，2007；Childress & Lung，2003；Krebs & Davies，1993；Treves，2000；Ohlsson，1991，引自 Ferrari & Chi，1998）。達爾文的天擇說，其實是不完整的演化機制解釋，因此筆者具體提出建議教科書課本是否應只要把「達爾文」視作對演化圖貌有重大貢獻者，也可以科學史角度探討其思想演變，或許有助於學生創造探索的能力，但不需獨尊其天擇，而應以最新的演化機制說為教學典範。

或許有人會質疑，學生都已經難以接受天擇說（Geraedts & Boersma，2006；Ferrari & Chi，1998），內容更豐富的現代演化機制是否更困難學習。但本研究中嘗試融入現代演化機制中多因子互動與不定向演化的觀念，設計了複雜系統融入教材，研究結果顯示，無論在量或質的研究中，複雜系統融入演化論，的確有助於演化概念的改變（至少在高中）。雖然本研究所謂的複雜系統，只包含了複雜系統的部分概念，如多因子互動、突現等，但其實已符合學者的建議（Jacobson & Wilensky，2006），他們認為重點在複雜系統的核心概念學習上。研究的正面結果，似乎和 Chi（2005）所指：「學生不易學習具突現本質的概念」不一致，但其實還是相符的，因本研究的複雜系統融入教學，類似於 Chi 研究群的本體訓練教學，兩者理念差不多，只是 Chi 等人是在一般教學前，先對學生進行突現過程本體訓練教學，透過本體訓練，減少學習新概念的阻礙，減少迷思概念也有助於概念改變（Slotta & Chi，2006）。而本研究是直接將複雜系統特性融入教科書

課文內容之中，並未對學生進行純複雜系統特性的課程。不過由本研究結果亦知，如 Slotta & Chi（2006）的啟發和本改良教材的正面結果，顯見在未來教科書演化文本中，以決定論最低的複雜系統特性融入或現代演化機制來作為典範，應該可行。

另外，在解釋類型融入演化教學上，Bishop & Anderson（1990） 指出演化迷思概念可能來自學生無法區分原因的解釋與功能上的解釋。Abrams & Southland（2001）在探討學生對生理機制概念時，也發現學生會用「why」的答案來回答「how」的問題。在本次的實證研究中，的確在晤談時發現有些學生會以「為什麼要」的答案來回答「為什麼能」的問題。而將解釋類型融入演化教學中，將演化區分成解釋演化現象和解釋演化機制兩層次問題，雖然整體看來，對於學生能意識兩不同問題與演化解釋的相關上，似乎並無顯著的成效，但至少在部分學生（如代號 10727 的受試者）上，驗證了當能夠區分出這兩層次的不同，也就沒有了用進廢退的想法。

所謂演化概念改變，其內容為何呢？由於許多的研究，都顯示學生有強烈的拉馬克另有想法，因此在討論某種教學課程前後，學生的概念改變時，便常以學生由拉馬克進步到達爾文想法為判準 （Deadman & Kelly，1978；Jensen & Finley，1996；Settlage，1994；陳藍萍，2004）。但筆者提出如圖 4-5-8 的演化解釋分類，明確將演化分成演化現象層次的解釋與演化機制層次的解釋。其實拉馬克與達爾文的最大差異僅在演化機制解釋上，對於演化現象，兩人並無不同，

因為各種的證據都顯示，生物會朝著有利於自己的方向演化。Geraedts & Boersma（2006）也有類似想法，其研究認定只有「生物個體在其生活史中會去適應生物或非生物的環境因子」及「這些改變可傳至下一代」想法者，才算是拉馬克論者，擁有「生物體會持續適應環境」想法者不算拉馬克主義者。

透過把演化解釋區分成現象解釋與機制解釋，可進一步將演化概念區分成三大層次九個層級的演化概念層級，並以此評估學生在學習前的另有概念與學習後的概念改變。其實 Wood-Robinson（1994）也曾以原因和過程，將另有概念類型分成：目的論和自然論兩種原因；拉馬克主義和選擇主義兩種過程。Wood-Robinson（1994）所謂的「原因」，即為筆者的「現象層次解釋」，而「過程」即為筆者的「機制層次解釋」。不過筆者的九個層級可更細部的看到另有概念模式。

透過晤談所得的演化概念模式圖，可掌握到本國國中七年級學生與高一學生的另有概念分佈。大多數的高一學生則具備不完整的天擇解釋，其中一半以上夾帶著用進廢退的想法。很少有中學生能有正確完整的演化機制解釋，這和諸多研究報告是相同的（Brumby，1984；Deadman & Kelly，1978；陳藍萍，2004）。大多數的國一學生，能做出演化現象解釋：「生物會朝某方向演化，因為該改變對其有利」，但無法說出任何機制，包括用進廢退說，筆者尚未發現有任何文獻討論到這點。

大部分演化概念的研究,都只將演化另有概念分成數類,另有概念間並無「比較錯誤」或「比較正確」的差別(Brumby , 1984 ; Deadman & Kelly , 1978 ; Ferrari & Chi，1998；Jensen & Finley，1996；陳藍萍，2004；劉誠宗，2003)。透過晤談所得的演化概念模式圖,筆者更清楚的解析出,學生在不同教材學習前後的進步情形。同樣屬於正確答案，但高 C 和高 EC 能進步到最正確的模式 I，而高 E 組則只能進步到模式 H。國中組許多學生則是雖然還是說出錯誤機制,但至少進步到能說出部分的天擇特性。比起測驗題量的分析結果,可對教材優劣做出更精細的檢驗。

對於教科書演化內容,本研究的整體結論與建議為:國內中學現有教科書對於演化機制,獨尊達爾文天擇。但科學的發展,使得當代對演化機制的理解,已超越達爾文天擇。這些新演化機制的內容,對於中學生而言,並不會難以學習。教科書的權威地位,使教科書和教科書編寫者有責任,以當今最正確的機制解釋來說明演化現象,不應該把正確解釋的責任交由任課教師自行補充。達爾文有其歷史地位,其發展天擇說的認知過程,值得作為青年學子學習探索思考和科學研究的範本,但達爾文天擇說應僅以這個教學目標而存在,對於演化機制,教科書編寫者不應在拘泥於達爾文天擇說。

第伍章　結論與建議

本研究者以科學哲學界對「解釋」、「科學解釋」、「機制」的討論，認知科學界對「本體」以及生物教育界對「演化教學」的討論為理論背景。分析了現行國內中學七個版本生物教科書中，演化專章及演化機制的文本內容。並且設計了三套不同的演化課文文本，由筆者轉化為教學內容，並親身於北市某完全中學高中一年級和國中七年級施教。除了用測驗題的量化結果來分析教學成效外，也用筆者所自行設計的概念層級模式圖來分析前後測晤談的概念改變。第四章已經呈現並討論研究所得的結果。本章將先簡陳研究所得之結論，之後再對研究設計及演化教科書，提供一些建議。

第一節　結論

一、現有教科書的演化相關內容

本小結所呈現的結論，來自第肆章第一節，可用以回答本研究的第一個研究目的與研究問題。

（一）演化機制

1、 科學史融入

所有版本都本節都有科學史相關內容，不過國中版篇幅較少，高中版則有豐富的科學史內容。但寫法有所不同。有兩點討論，一是天擇說的發展，一是拉馬克的角色。在天擇說發展上，高融版、高康版主要篇幅談的達爾文從何處何人何方法得到天擇的概念，屬於個人的認知發展分析；而高楠版則以科學發展史為軸，討論創造論、用進廢退、天擇等不同典範的內容與興替。在拉馬克角色方面，有的版本把拉馬克視作被天擇說打倒的「壞人」，有些則把拉馬克視作啟發天擇想法之一的「好人」。

2、 以達爾文天擇說為主體

各版本在演化機制該節中，都以達爾文的「天擇說」機制為論述中心，大部分版本都另強調天擇說之優於拉馬克學說，且都提到「競爭」或「生存競爭」一詞。高中版另以相當篇幅來討論達爾文學說的發展。明顯指出天擇說不足的只有國楠版及國教版，高中版本則加強遺傳和演化的論述，並不直接批判達爾文。這種作法或許會讓教科書讀者誤以為天擇說為演化機制目前的最佳解釋，或誤以為達爾文的天擇說已融入遺傳學理論。

3、 少見現代演化機制想法

所謂現代機制想法，包括考量天擇、基因、突變、競爭以外其他的互動、不可預知事件等（Auyang，1998）。只有國楠版明白提出「現代綜合論」一詞，大致提到上述各因子。高中各版雖納入遺傳觀念，如突變的無方向性，顯得內容詳

細豐富。但對於「偶發事件機率」、「適者未必生存」等演化的不可確定性沒有提及。

4、 其他一些可見的缺失

Rees (2007) 曾發現英國生物教科書關於演化內容的錯誤。本國有些版本似乎也有些疏失 : 有些版本在同一節中 , 對同一名詞 :「生物演化」, 分別從「性狀」、「基因」角度給了兩個不同的定義，卻未比較此兩定義。有些版本則把「演化」與「天擇」視為等義。筆者另從選擇者的主動與否，區別人擇與天擇之不同：人擇的現象，符合有意識傾向目的論本體，而天擇的結果，則屬無意識傾向。並進一步認為，若想以「人擇」來做「天擇」的類比，必須另做類比限制的說明。

（二）演化論專章

1、 教科書的權威

透過解釋類型的分析，發現教科書的編寫，至少在演化專章部分，「非解釋純敘述」的比例最高，顯示教科書作者，不以協商的角度，而以告知的角度編寫課文，彰顯了教科書的權威。

2、 課文中類比解釋很少

雖然類比是教師常用的教學策略（湯偉君，2006），但七個版本演化專章只

出現一個類比解釋。可能原因為：生命科學現象的本質不適合或不需要用類比解釋；演化此一議題不適合或不需要用類比解釋。不過原因出自為何，可進一步實證探討。

3、 科學解釋類別中以機制性解釋為最多

原本認為學生拉馬克另有概念難以移除之因，可能來自生物課本當中有許多功能性解釋，但結果發現除了國漢版之外，各版本功能性解釋的量都很低，因此另有概念的起因可能並非來自教科書課文的影響，或許來自教師的口語解釋或其他日常生活經驗，但有待進一步實證探討。通則性解釋在演化專章中頗為少見，機制性解釋最多，符合生物哲學上對生物學科本質的討論。

4、 教科書正文重在「知識的傳授」，不在強調「探討」與「閱讀接受度」

筆者區分出三大類敘述中，「科學解釋類型」述說的是「現象敘述」加上「現象起因的敘述」，「促進理解解釋」是「一個事實敘述」加上「促進理解這個事實的敘述」，但「無解釋」只呈現「事實」，而不去「探討成因」，也不考慮讀者是否理解。教科書編寫方式，以第三類居多，似乎比較著重在「知識的傳授」，在此教科書表現出其高度的文本權威。

5、 不同版本對同一現象可有不同的解釋類型

例如同樣對於鸚鳥嘴型的演化，國康版做出機制性解釋，而國漢版則以「獲

取更佳的生存機會」來解釋該現象的產生，屬於功能性解釋。筆者原先認為「為了某某目的，所以生物長成這樣」的功能性解釋，會普遍出現生物課本內容中，但至少在演化專章裡，只有國漢版，比較多此類的敘述。筆者認為可能是這類功能性解釋，神似於拉馬克的用進廢退說，使得課文編寫者避開此類解釋。

二、學生演化論的概念發展

本小節所呈現的結論，主要來自第四章第三節至第五節，可用以回答本研究第二、三個研究目的與研究問題。

（一）教學前的另有概念

透過筆者所發展的概念層級模式，可以偵測到國七學生和高一學生在教學前的另有概念，整理如下：

1、國一階段大部分已具有「生物會跨世代演變」的想法，至於這個想法是在國中前的何時建立，本研究無法提出解答，有待進一步研究。

2、國一階段大部分已具有「生物會依功能需求，因應環境而跨世代改變」的想法，可能與自然教科書課本常使用「功能性解釋」來解答自然界的生物現象有關（Tang & Chiu，2007），但有賴進一步研究。

3、國一階段學生大部分尚未具有演化機制的想法，這應與學校或教科書或近年課程標準，未在國小階段提供這方面的教學有關。

4、因為大多數國中生無演化機制的概念，當問以「為何能演化？」這類機制性問題時，部分學生會忽略這個問題中機制性解釋的要求，而逕自以功能性解釋的答案來回應。

5、大部分高一學生都有「適應環境」而演變，且已有演化機制的看法，但常不完整，且常與用進廢退說弄混，也有學生誤認達爾文提出「用進廢退說」，只有少數有正確且完整的天擇概念。

（二）演化的現象與機制解釋

演化是複雜系統運作後產生的現象，因為複雜系統中成分與現象的不可共量，我們難以從成分當下的互動，預測現象為何。同時，不一定每個人都知道道演化現象，知道演化現象也不一定知道演化機制。因此探討演化另有概念，應該同時考慮「現象」、「機制」兩層次。在演化現象層次中，對演化的最簡潔解釋為功能性解釋，在機制層次中，用進廢退說雖然錯誤，但達爾文的天擇說也不夠完整。

因此，討論學生概念改變時，可分成「有無意識到演化現象存在」、「對演化方向的想法」、「對演化機制的了解」三個層級，且「演化機制」也有正確度不同的數種解釋。這種演化層級的區分，近似於科學史中演化概念的發展也符合認知歷史。

的確，有些國中組受測者，由前測的「沒演化意識」進步到後測的「知道演

化會朝有利方向，但還是不知演化機制」。以往演化教學的研究，常以得到天擇說做為概念改變之判斷，此時上述國中受測者的進步情形將無法偵測得到。因此，區分出現象與機制兩層級，來評量學生的演化概念發展，更能清晰掌握學生程度。

（三）「為什麼能」與「為什麼要」

Abrams & Southland（2001）曾提到學生會混淆「why」和「how」兩種問題，本研究中也可發現到這種例子，例如代號 10727 受測者接受晤談時，連續兩次「為什麼能變」、「為什麼能做到」的問題，10727 都以「為了……（某目的）」這種功能性的角度來回答。「why」和「how」兩種問題分別針對「演化現象」、「演化機制」，本研究以解釋類型融入演化教學，協助學生釐清兩種問題，的確有助於學生意識到兩者的不同，正如 10727 在後測時有明顯的改善。

（四）用進廢退難以移除

不僅前測時，具有演化機制觀者常有用進廢退的想法。本研究也發現用進廢退的觀念，頗難以移除，即使已擁有正確概念模式在回答問題時，常不自覺反射而以「用進廢退」的想法來回答，雖然在經過提醒之後，他們仍能用正確的天擇來說明演化，但已顯示用進廢退的確有其牢固性。本研究原本認為教科書內的功能性解釋，可能是禍首，但其實課文內的功能性解釋並不多，因此用進廢退之難以移除，應非來自中學教科書課文影響，可能來自於如生活經驗、教師口語等其

他因素。

三、三組教學的成效

本小節所呈現的結論，其資料來源於第四章第二至第五節，可用以回答本研究之研究目的和研究問題四至六。

1、 三組教學效果的比較

從量的分析和晤談資料分析看來，不論是高中一年級學生或國中七年級學生，接受解釋類型和複雜系統兩要點融入的 EC 組的學習效果，皆優於單純一個要點融入的複雜組（C 組）和解釋類型組（E 組）。而 C 組因為可讓學生在學習後達到最正確的多因子天擇模式，比起只能達到單因子天擇的 E 組，且 C 組的測驗題後測中，受測者選取了較多「多因子」選項，C 組的教學效果顯然較優。

2、 EC 組和 C 組教學後，學生可有複雜系統特性的想法

EC 組和 C 組皆有複雜系統特性融入演化課程教學，這兩組學生在測驗題後測時會選取較多「多因子」選項，且晤談結果較能達到「多因子天擇」的最正確模式。表示經此教學，大部分學生在對於演化的理解為：在演化現象上，生物不一定能朝需求而演化，在演化機制上，演化時不能只考慮種內競爭此一因素，包括機率、與其他生物或環境的互動皆須考慮。

3、 解釋類型融入的助益

只有解釋類型融入而無複雜系統融入的國 E 和高 E 教學效果較不明顯，但解釋類型融入並非完全無效益，例如底下幾個結果

1、高 EC、國 EC 的表現分別比高 C、國 C 來得好。

2、高 C 進步組的晤談資料顯示，有可能達到多因子天擇模式，卻少了一項天擇要件概念

3、國 C 進步組晤談資料顯示，學生出現「了解演化現象為不定向，但卻仍存在用進廢退想法。」

4、國 E 在後測已移除用進廢退想法者，有 3 位能說出「解釋類型差異」，而未得到天擇想法者，都無法說出「解釋類型差異」。

5、高 E 組能移除用進廢退者和進步組成員，在後測時能說出「解釋類型差異」。唯一未移除用進廢退者，則無法說出「解釋類型差異」。

6、高 EC 組進步到單因子模式者，大部分對「解釋類型差異」印象深刻

這幾點顯示了融入解釋類型的 E 及 EC，因為可能把「現象」、「機制」的解釋劃分得更清楚，而有某些助益，甚至移除了用進廢退的想法。

四、演化概念的評量

以筆者自行發展的概念模式圖來呈現學生的演化概念，具有以下優點：

（一）具有效度

本概念模式圖具有效度，例如：10617 在後測晤談時的自覺：以前解釋演化時會混雜用進廢退想法，而在經過這次課程學習之後，該生已進步到完整單因子天擇。而概念模式圖顯示該生在前測時演化概念模式為混合型，見圖 4-4-7 或表 4-4-1，後測時為單因子模式（圖 4-4-8）。模式圖分析出的結果，與該生的自覺相符。

（二）簡單明瞭地呈現豐富資訊

1、 精確反應進步的程度

量化的測驗成績可以看出學生前後測的程度與進度，概念模式圖除也可以表明出程度與進度之外，另可呈現出超越分數所能代表的意義。因為學生是否察覺演化現象，與學生的天擇概念不完整，屬於不同程度，而非地位平行的不同另有概念。但這種不同層次的另有概念，在選擇題的回答中，有可能都屬「錯誤」。但概念模式圖將演化概念分成三個層次，以演化概念層級來作分析，可看出學生概念改變的幅度

2、 如同文字敘述的個人化診斷工具

如第肆章第三到五節，根據晤談資料可轉化出每個人的概念模式圖。往後要回去檢視學生學習情況，模式圖可以顯現出比純分數更多的資訊，卻又比晤談的文字資料易於閱讀。它可以顯示每個人在每一層級的正確程度，也可以輕易呈現缺乏少了哪一要點的天擇概念。可清楚看到每個人詳細概念改變的情況，多了什麼，還少什麼，而非只是分數增減而已

3、 如同分數可輕易掌握群體的概念程度

本研究發展的演化概念模式圖，能有效且清楚的反應每個人的演化概念層級。雖然也可用文字敘述來反應一個學生的概念程度，但如果有一群的學生，教師比較難以迅速掌握全班所有學生的大致程度，利用概念模式圖，卻可一眼看出。

4、 簡潔易繪

一個圖可簡潔表達出一大串文字，且只有基本的九個圖，稍加修改便可表達出不同人的概念模式，且以適當電腦軟體容易繪製這些圖形。

第二節　　建議

本節將先依據研究結論，為中學演化論的教學，包括教科書與概念評量提出建議。並對研究過程進行檢討，提出改進之道，最後對未來研究方向提供一些意見。

一、中學演化論的教學

（一）課文的設計

1、 提供正確的演化機制解釋

受惠於當代遺傳學、複雜系統觀等理論的發展，現在對演化機制的解釋，早已超越達爾文。而且這些超越達爾文的機制想法，至少對高中生而言，並無學習困難。既然能兼顧正確性與可理解性，新的演化教科書，沒有理由不賦予當代演化機制一個典範地位。

2、 達爾文天擇說的發展可以保留

雖然當年達爾文所提的天擇說不能完全解釋演化現象，但教科書仍可保留達爾文學說的發展，不論是從創造論到天擇的典範轉移角度，或是從達爾文整合自身觀察和其他理論的認知發展角度，應該可給予年輕學子對科學研究或科學本質

的認識。

3、 更加慎重的編寫

透過內容分析可以，發現無論「天擇」與「人擇」的類比，拉馬克的歷史定位，達爾文天擇說內容，重要名詞的定義，各版本或多或少都出現了編寫上的爭議。教科書編寫者的學識無庸置疑，但或許編寫技巧上可能需要更加慎重。

（二）演化概念的評量

1、 從「現象」與「機制」面考量

演化現象與演化機制各有適當的解釋類型，在人類科學發展史上，對此兩項也有先後順序的認識，因此在討論學生演化另有概念或概念改變時，不應單從演化機制的知識做考量，應增加認識演化現象一層面。

2、 複雜系統觀的納入

當把複雜系統觀納入演化考量時，至少可增加兩點對演化現象的認識，一是無法以成分現有作為預測未來發展，也就是未來演化現象難以預測；一是演化現象是多重因子互動所造成，不是單一因子的優勢便可決定，例如不是毛色變白便一定可以在北極生存。現有對演化的評量，似乎為考慮這兩點，本研究在測驗題中加入「多因子」選項，在概念層級分類中也加入多因子天擇一層級，可供未來

的演化概念評量參考。

二、研究過程的改進

1、本研究考量時間、精力，只針對國中三班與高中三班進行施測。樣本數稍小，尤其高中經過基測篩選，本研究的高中樣本，僅能代表北區中段學生，至少並未包括基測分數常態分佈曲線中的左、右端學生，這點影響了結果的推論效度。

2、由於晤談與施教都由筆者完成，可發現許多接受前測晤談的學生，在上課時特別積極參與，雖然還是有些接受晤談學生參與度不多，不過實驗者效應頗明顯，或許日後的研究，晤談者與授課者不應由同一人為之。

3、本研究只對國、高中三版本的演化專章進行分析，事實上，影響學生生物概念或解釋偏好的教科書內容，不應僅包括生物其他章節，甚至也包括其他學科教科書，或許日後的研究可以選取更大的研究樣本。

4、因為協調不當，導致在國中組前測晤談與進行教學之間，原國中任課老師已進行演化的教學。雖三組都有接受同一位老師教學，且後測的歸因得知該老師教授演化機制的時間和內容並不多，但總是影響了實驗結果的信、效度，之後的研究應更注意協調溝通與流程掌控。

5、本組所提出的三種演化課文修訂版，雖有經過專家審定，但之後由課文轉

成教材時，並未經過專家審定。雖然大部分專業教師在轉錄課文內容為教學內容時，不會就教於學科專家，但畢竟這是專業論文，應該審慎進行此一步驟。

三、未來的研究方向

（一）新評量方式的發展

以量化分數作為評量基準，有其方便及易於統計運算的優點，但也有忽略個別學生狀態的許多缺點，目前也已有許多替代方案，試圖取代分數作為評量標準諸如歷程檔案、概念圖等。本研究由解釋和機制的討論中，設計了概念層級與概念模式，原意只是作為評量分析而已，但最後發現這重評量方式有許多的好處，甚至可做為未來評量方式的改進參考。然而本研究乃以晤談結果來繪圖，且這些模式圖只適用演化單元。未來的研究可以有：

1、提昇繪圖的方便性：透過良好的題目設計，應當可以利用選擇題，配合適當的電腦閱卷與繪圖程式，迅速反應出一個學生的演化概念。

2、探索生物其他概念或其他自然學科，發展此類概念模式圖的可行性。

（二）以閱讀探討演化改良教材的成效

本研究的演化改良教材乃透過教師重組課文內容後來促進學生概念改變，但學生也可能透過自行閱讀教科書而得到概念改變，本研究為著墨於此，或許是未

來可進行的研究。

（三）解釋與機制理論的科教應用研究

科學哲學界對「解釋」與「機制」已有豐富的討論，本研究僅引用其中一小部分，未來或許可以發展解釋與機制的理論，用於科學教育更議題的研究。

參 考 書 目

李建會（1995）還原論、突現論與世界的統一性 *科學技術與辯證法，12*（5），5-8

李夏和戴汝為（1999）突現--系統研究的新觀念 *控制與決策，14*（2），97-102

李家維（2007）總編輯的話--面對科學與宗教的衝突 *科學人，8*，10

李哲迪（2006）高中物理教科書與學生關於力的話語與合法化的語言策略. 國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文.

周成功（1994）尼采的狂放世界 In 齊若蘭（譯）(Ed)，*複雜：走在秩序與混沌邊緣* 台北市: 天下文化

周珮儀(2002）國小教師解讀教科書的方式 *國立台北師範學院學報,15*，115-138

林正弘（1991）*伽利略、波柏、科學說明* 台北市: 東大出版

林孟慧（1998）*理化類比對國三學生地球科學概念學習的影響* 國立台灣師範大學科學教育所碩士論文，台北市（未出版）

林靜雯(2006)由概念演化觀點探索不同教科書教學序列對不同心智模式學生電學學習之影響. 國立台灣師範大學科學教育所博士論文，台北市(未出版)

武杰和李宏芳（2000）非線性是自然界本質嗎？ *科學技術與辯證法，17*（2），1-5

邱美虹和林秀蓁（2004）以 childes 分析一對一科學教學活動中師生互動共建科學知識的行為表現 *科學教育學刊，12*（2），133-158

邱美虹（2000）概念改變研究的省思與啟示 *科學教育學刊，8*（1），1-34

段德智、尹大貽和金常政等譯（2004）*哲學辭典*（Vol 2） 台北市: 城邦文化

范冬萍和張華夏（2005）突現理論：歷史與前沿 *自然辯證法研究，21*（6），5-10

范冬萍（2005a）突現論的類型及其理論訴求 *科學技術與辯證法，22*（4），49-53

范冬萍（2005b）論突現性質的下向因果關係 *哲學研究*（7），108-114

孫克勤譯（1989）*達爾文物種原始精義* 台北市: 台灣省立博物館出版部

荏家續（2007）*高一學生生物演化概念分析與概念改變教學之研究* 國立台灣師範大學科學教育所碩士論文，台北市（未出版）

張明渭和張康英（1995）*生物五千年*（Vol 初版） 台北市: 曉園出版社

張賴妙理（1999）*初任暨資深國中生物教師在運輸作用、遺傳與演化單元的教學表現之個案研究* 國立台灣師範大學科學教育所博士論文，台北市（未出版）

許良榮（1997）*科學課文結構對於科學學習的影響* 國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文（未出版）

陳世文（2007）*科學文本之級位分體論述與師生對其語意理解之研究* 國立台灣師範大學科學教育研究所博士論文，台北市（未出版）

陳志良（2001）*西洋哲學三百題* 建宏出版社，台北市

陳思廷（2005）「科學哲學專題：科學解釋」暑期讀書會

陳藍萍（2004）*高一學生生物演化概念之研究* 國立台灣師範大學科學教育所碩

士論文，台北市

湯偉君和邱美虹(2007) 複雜系統、突現及其對科學教育的啟示 *科學教育月刊，301* ，17-25

湯偉君（2006） 如何讓學生理解 ATP---一個類比教學實例 *科學教育月刊，286*（Mar），51-55

舒煒光和邱仁宗主編（1998）*當代西方科學哲學述評* （2 ed） 台北市: 水牛圖書出版事業有限公司

楊國樞、文崇一、吳聰賢和李亦園（2001）*社會及行為科學研究法* 台北市: 東華書局

葉篤莊、周建人和方宗西等譯（1998）*物種起源* 台北市: 台灣商務印書館

趙雅琳（2004）*科學教科書之「主題相關組」結合「體裁」分析* 國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，台北市（未出版）

劉昭宏和郭重吉（1995）教科書在國中理化教學中的應用之個案研究 *科學教育學刊，第六期* ，89-112

劉誠宗（2003）*學生對物種起源的解釋架構一貫性之探析* 國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文，台北市（未出版）

謝愛華（2003）突現論：科學與哲學的新挑戰 *自然辯證法研究，19*（9），84-87

藍順德（2004）二十年來國內博碩士論文教科書研究之分析 *國立編譯館館刊，32*（4），2-25

關崇智（1997）*生物學發展史* 台北市: 淑馨出版社

Abrams, E., & Southland, S.（2001）. The how's and why's of biological change: How learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education, 23*（12）, 1271-1281.

Achinstein, P.（1988）. The illocutionary theory of explanation. In J. C. Pitt（Ed.）, *Theories of explanation*. New York: Oxford University Press.

Aleixandre, M. P. J.（1994）. Teaching evolution and natural selection: A look at textbooks and teachers. *Journal of Research in Science Teaching, 31*（5）, 519-535.

Anderson, B., & Wallin, A.（2006）. On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education, 28*（6）, 673-695.

Audi, R.(Ed.).(1999). *The cambridge dictionary of philosophy*(2 ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Auyang, S. Y.（1998）. *Foundations of complex-system theories: In economics, evolutionary biology, and statistical physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bardell, D.（1994）. Some ancient-greek ideas on evolution. *The American biology teacher, 56*（4）, 198-200.

Bar-Yam, Y.（2003）. *Dynamics of complex systems*. New York: Perseus Publishing.

Bateson, G.（1979）. *Mind in nature. A necessary unity*. New York: E.P.Dutton.

Beauchamp, G., & Ruxton, G. D.（2007）. False alarms and the evolution of antipredator vigilance. *Animal Behaviour, 74*, 1199-1206.

Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990) . Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching, 27*, 415-427.

Bogen, J.(2005). Regularities and causality; generalizations and causal explanations. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 36*, 397-420.

Bonnie, K. E., & Earley, R. L.(2007). Expanding the scope for social information use. *Animal Behaviour, 74*, 171-181.

Boomsma, J. J. (2007) . Kin selection versus sexual selection: Why the ends do not meet. *Current Biology, 17*, 673-683.

Bosomaier, T., & Green, D.(1998). *Patterns in the sand: Computers, complexity and life*. Australia: Allen & Unwin Pty Ltd.

Brandont, R. N. (1997) . Does biology have laws? The experimental evidnce. *Philosophy of Science, 64* (proceedings) , s444-s457.

Bromham, L., & Oprandi, P. (2006) . Evolution online: Using a virual learning environment to develop active learning in undergraduates. *Journal of Biological Education, 41* (1) , 21-25.

Brumby, M. N.(1981). The use of problem-solving in meaningful learning in biology. *Research in Science Education, 11* (1) , 103-110.

Brumby, M. N. (1984) . Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science education, 68* (4) , 493-503.

Chi, M. T. H. (1992) . Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.) ,

Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.

Chi, M. T. H. (1997). Creativity: Shifting across ontological categories flexibly. In T. B. Ward, S. M. Smith & J. Vaid (Eds.), *Creative thought: An introduction of conceptual structures and processes* (pp. 209-234). Washington DC: American Psychological Association.

Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The journal of the Learning Science, 14* (2), 161-199.

Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice* (pp. 3-27). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Chi, M. T. H., & Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction, 10*, 249-260.

Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H., & La Vancher, C. (1994a). Eliciting self-explanation improves understanding. *Cognitive Science, 18*, 439-477.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994b). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction, 4*, 27-43.

Childress, M. J., & Lung, M. A. (2003). Predation risk, gender and the group size effect: Does elk vigilance depend upon the behaviour of conspecifics? *Animal Behaviour, 66*, 389-398.

Conradt, L., & Roper, T. J. (2005). Consensus decision making in animals. *TRENDS*

in Ecology and Evolution, 20 (8) .

Craver, C. F. (2001) . Role functions, mechanisms, and hierarchy. *Philosophy of Science, 68*, 53-74.

Craver, C. F. (2002) . Interlevel experiment and multilevel mechanisms in the neuroscience of memory. *Philosophy of Science, 69* (3) , S83-S97.

Dagher, Z. R., & BouJaoude, S. (1997) . Scientific views and religious beliefs of college students: The case of biological education. *Journal of Research in Science Teaching, 34* (5) , 429-445.

Dagher, Z. R., & Cossman, G.(1992) . Verbal explanations given by science teachers: Their nature and implications. *Journal of Research in Science Teaching, 29*(4) , 361-374.

Darden, L. (2002) . Strategies for discovering mechanisms: Schema instantiation, modular subassembly, forward/backward chaining. *Philosophy of Science, 69* (September) , 354-365.

Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978) . What do sceondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education, 12* (1) , 7-15.

Demastes, S. S., John Settlage, J., & Good, R. (1995) . Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: Cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching, 32* (5) , 535-550.

Dixon, D. (1998) . *After man - a zoology of the future*. London: Eddison Sadd Editions.

Dobzhansky, T. (1973) . Nothing in biology makes sense except in the light of

evolution. *American Biology Teacher, 35*, 125-129.

Dupre, J. (1993) . *The disorder of things*: Harward University Press.

Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998) . The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education, 20* (10) , 1231-1256.

Flannery, M. C.(1993). Evolution at the center. *The American biology teacher, 55*(6), 372-375.

Futuyma, D. J. (1998) . *Evolutionary biology, (* 3 ed.) . Sinauer: Mass.

Gauld, C. (1992) . Wilberforce, huxley & the use of history in teaching about evolution. *The American biology teacher, 54* (7) , 406-410.

Geraedts, C. L., & Boersma, K. T. (2006) . Reinventing natural selection. *International Journal of Science Education, 28* (8) , 843-870.

Gleick, J. (1987) . *Chaos: Making a new science*. New York: Viking.

Glennan, S. (1996) . Mechanisms and the nature of causation. *Erkenntnis, 44* (1) , 49-71.

Glennan, S. (2002) . Rethinking mechanistic explanation. *Philosophy of Science, 69* (September) , 342-353.

Glennan, S. (2005) . Modeling mechanisms. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 36*, 443-464.

Godfrey-Smith, P. (2003) . *Theory and reality: An introduction to the philosophy of science*. Chicago: The university of Chicago Press.

Goldstone, R. L. (2006) . The complex systems see-change in education. *The journal of the Learning Science, 15* (1) , 35-43.

Goldstone, R. L., & Sakamoto, Y.（2003）. The transfer of abstract principles governing complex adaptive systems. *Cognitive Psychology, 46*, 414-466.

Gould, S. J.（1992）. *Ever since darwin: Reflections on natural history*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.

Griffiths, J. A., & Brem, S. K.（2004）. Teaching evolutionary biology: Pressures, stress, and coping. *Journal of Research in Science Teaching, 41*（8）, 791-809.

Guyot, P., Drogoul, A., & Lemaitre, C.（2005）. *Using emergence in participatory simulation to design multi-agent systems.* Paper presented at the the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Utrecht, Netherlands.

Hempel, G. G.（1965）. *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of science*. New York: The Free Press.

Hmelo-Silver, C. E., & Azevedo, R.（2006）. Understanding complex systems: Some core challenges. *The journal of the Learning Science, 15*（1）, 53-61.

Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G.（2004）. Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science, 28*, 127-138.

Holland, J. H.（1992）. *Adaptation in natural and artifical systems*: MIT Press.

Horwood, R. H.（1988）. Explanation and description in science teaching. *Science education, 72*（1）, 41-49.

Humphreys, P.（1997a）. Emergence, not supervience. *Philosophy of Science, 64*（supplement）, 337-345.

Humphreys, P.（1997b）. How properties emerge. *Philosophy of Science, 64*, 1-17.

Jacobson, M. J., & Wilensky, U.（2006）. Complexity systems in education: Scientific and education importance and implication for the learning science. *the journal of the Learning Science, 15*（1）, 11-34.

Jeffery, K. R., & Roach, L. E.（1994）. A study of the presence of evolutionary protoconcepts in pre-high school textbooks. *Journal of Research in Science Teaching, 31*（5）, 507-518.

Jensen, M. S., & Finley, F. N.（1996）. Change in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instructional strategies. *Journal of Research in Science Teaching, 33*（8）, 879-900.

Keown, D.（1988）. Teaching evolution: Improved approaches for unprepared students. *American Biology Teacher, 50*, 407-410.

Kitcher, P., & Salmon, W. C.（Eds.）.（1989）. *Scientific explanation*. Minnesotapolis: University of Minnesota Press.

Krebs, J. R., & Davies, N. B.（1993）. *An introduction to behavioural ecology*（3 ed.）: Wiley-Blackwell.

Kuhn, T. S.（1970）. *The structure of scientific revolution*（Vol. 2）. Chicago: University of Chicago Press.

Lesh, R.（2006）. Modeling students modeling abilities: The teaching and learning of complex systems in education. *The journal of the Learning Science, 15*（1）, 45-52.

Liu, L., Marathe, S., & Hmelo-Silver, C. E.（2005）. *Function before form: An alternative approach to learning about complex system.* Paper presented at the the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Motereal QC.

Machamer, P.（2004）. Activities and causation: The metaphysics and epistemology of

mechanisms. *International Studies in the Philosophy of Science, 18*(1), 27-39.

Machamer, p., Darden, L., & Craver, C. F. (2000) . Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science, 67* (March) , 1-25.

Marks, J. (1983) . *Science and the making of the modern world*: HeineMann.

Martin, J. R. (1970) . *Explaining, understanding and teaching*. New York: McGraw Hill.

Novak, J. D. (1990) . Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching, 27* (10) , 937-949.

Novak, J. D. (1995) . Concept mapping: Strategy for organizing knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit(Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 229-245) . New Jersy: Lawrence Erlbamm Associates.

Ohlsson, S. (1991) . *Young adult's understanding of evolutionary explanations: Preliminary observations.* University of Pittsburgh: Learning Research and Development Center.

Penner, D. E. (2000) . Explaining systems: Investigating middle school students' understanding of emergent phenomenon. *Journal of Research in Science Teaching, 37* (8) , 784-806.

Penner, D. E. (2001) . Complexity, emergence, and synthetic models in science education. In K. Crowley, C. D. Schunn & T. Okada (Eds.) , *Designing for science: Implication from everyday, classroom, and professional settings*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Raia, F. (2005) . Students' understanding of complex dynamic systems. *Journal of*

Geoscience Education, 53 (3) , 297-308.

Rees, P. A. (2007) . The evolution of textbook misconceptions about darwin. *Journal of Biological Education, 41* (2) , 53-55.

Resnick, M. (1994) . *Turtles, termites, and traffic jams: Explorations in massively prarllel microwords*. Cambridge, MA: MIT Press.

Resnick, M(1996). Beyond the centralized mindset. *Journal of the Learning Science, 5*, 1-22.

Resnick, M., & Wilensky, U. (1998) . Diving into complexity: Developing probabilistic decentralized thinking through role-playing activities. *The Journal of the Learning science, 7* (2) , 153-172.

Ruse, M.(2005). Darwinism and mechanism: Metaphor in science. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 36* (2) , 285-302.

Salmon, W. C. (1984) . *Scientific explanation and the causal structure of the world*. New Jersey: Princeton University Press.

Salmon, W. C.(1989a). Four decades of scientific explanation. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.) , *Scientific explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Salmon, W. C. (1989b) . *Four decades of scientific explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Salmon, W. C. (1998) . *Causality and explanation*. New York: Oxford University Press.

Scharmann, L. C. (1993) . Teaching evolution: Designing successful instruction. *The American biology teacher, 55* (8) , 481-486.

Schmidt, H.-J.（2003）. Shift of meaning and students' alternative concepts. *International Journal of Science Education, 25*（11）, 1409-1424.

Scriven, M.（1988）. Explanations, predictions, and laws. In J. C. Pitt（Ed.）, *Theories of explanation*. New York: Oxford University Press.

Settlage, J. J.（1994）. Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense-making process. *Journal of Research in Science Teaching, 31*（5）, 449-457.

Shankar, G., & Skoog, G. D.（1993）. Emphasis given evolution and creationism by texas high school biology teachers. *Science Education, 77*（2）, 221-233.

Shtulman, A.（2006）. Qualitative differences between naive and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology, 52*, 170-194.

Slotta, J. D., & Chi, M. T. H.（2006）. Helping students understand challenging topics in science through ontology training. *Cognition and Instruction, 24*（2）, 261-289.

Smith, B. R., & Blumstein, D. T.（2008）. Fitness consequences of personality: A meta-analysis. *Behavioral ecological, 10*（2）, 448-455.

Soderberg, P., & Price, F.（2003）. An examination of problem-based teaching and learning in population genetics and evolution using evolve, a computer simulation. *International Journal of Science Education, 25*（1）, 35-55.

Sterelny, K., & Griffiths, P. E.（1999）. *Sex and death: An introduction to philosophy of biology*. Chicago: The University of Chicago Press.

Swarts, F. A., Anderson, O. R., & Swetz, F. J.（1994）. Evolution in secondary school

biology textbooks of the prc, the USA, and latter stages of the ussr. *Journal of Research in Science Teaching, 31*（5）, 475-505.

Tabery, J. G.（2004）. Synthesizing activities and interactions in the concept of a mechanism. *Philosophy of Science, 71*（January）, 1-15.

Talanquer, V.（2007）. Explanation and teleology in chemistry eduction. *International Journal of Science Education*.

Tang, W. C., & Chiu, M. H.（2007）. *Analyze the science curriculum standards with the kinds of scientific explanation.* Paper presented at the European Science Education Research Association Conference 2007, Malmo.

Thagard, P.（1992）. *Conceptual revolution*. Princeton: Princeton University Press.

Thagard, P.（1999）. *How scientists explain disease?* Princeton: Princeton University Press.

Treagust, D. F., & Harrison, A. G.（2000）. In search of explanatory frameworks: An analysis of richard feynman's lecture 'atoms in motion'. *International Journal of Science Education, 22*（11）, 1157-1170.

Treagust, D. F., & Mamiala, T. L.（2003）. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education, 25*（11）, 1353-1368.

Treves, A.（2000）. Theory and method in studies of vigilance and aggregation. *Animal Behaviour, 60*, 711-722.

Trowbridge, J. E., & Wanderse, J. H.（1994）. Identifing critical junctures in learning in a college course on evolution. *Journal of Research in Science Teaching, 31*（5）, 459-473.

Unsworth, L.（1997）. Explaining explanations: Enhancing science learning and

literacy development. *Australian Science Teachers' Journal, 43* (1) , 34-49.

Unsworth, L. (2001) . Evaluating the language of different types of explanations in junior high school science texts. *International Journal of Science Education, 23* (6) , 585-609.

Veel, R. (1997) . Learning how to mean - scientifically speaking: Apprenticeship into scientific discourse in the secondary school. In F. Christie & J. R. Martin (Eds.), *Genre and institutions: Social processes in the workspace and school* (pp. 161-195) . London: Cassel.

Von Fraassen, B. C.(1988). The pragmatic theory of explanation. In J. C. Pitt(Ed.), *Theories of explanation*. New York: Oxford University Press.

Waldrop, M. M. (1992) . *Complexity - the emerging science at the edge of order and chaos*. New York: Touchstone.

Whitley, B. E. (2002). Principles of research in behavioral science (2 ed.). New York: McGraw-Hill.

Wong, D. (1996) . Students' scientific explanations and the context in which they occur. *Elementary School Journal, 96* (5) , 495-511.

Wood-Robinson, C. (1994) . Young peoples' ideas about inheritance and evolution. *Science in Science education, 24*, 29-47.

Woodward, J. (2000) . Explanation and invariance in the special sciences. *British Journal for the Philosophy of Science, 51*, 197-254.

Woodward, J.(2002). What is a mechanism? A counterfactual account. *Philosophy of Science, 69* (3) , s366-s377.

Yoon, S. A. (2007) . An evolutionary approach to harnessing complex systems

thinking in the science and technology classroom. *International Journal of Science Education*, 1-32.

Zohar, A., & Ginossar, S.（1998）. Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education - heretical suggestion. *Science Education, 82*, 679-697.

附 錄

附錄一：教科書課文

一、複雜系統觀融入演化的課文

我們都知道生物會演化， 北極熊演變成現今的白色，竹節蟲演變成現今類似植物枝葉的體態，這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，白熊適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。長頸鹿的長脖子有利於其吃到高處的樹葉。但演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？

演化是一個複雜的過程，牽涉的因素非常多，包括生物本身、其他生物、環境、時間等等。演化的發生，便是在這些因素的互動之下才能發生(多因子互動)。首先我們可以說，除了人類之外，沒有其他生物知道身體要作怎樣的改變，才是對自己有利的，長頸鹿本身並不知道脖子長短有何優劣？他體內的基因也無法知道要怎要才能變成長脖子？(無中央控制)。我們知道生物體有個別差異，如從前長頸鹿脖子有長有短。不管彼此間差異多大，都要公平的接受環境的考驗，在飢荒的年代，長脖子的長頸鹿因為能吃到高處的葉子，而短脖子長頸鹿卻得要和其他短脖子的草食性動物，競爭低處的樹葉和草，在嚴酷的考驗下，短脖子長頸鹿因此而漸漸淘汰，長脖子長頸鹿的比重逐漸增多，最後長頸鹿族群通通都是長脖子種類。

因此所謂的競爭，不一定是同種生物間的競爭而已，也有可能是和其他生物的競爭（多因子互動）。假使當年只有短脖子長頸鹿，則它們可能通通因為競爭不過其他草食動物而被淘汰，如此，現在也就沒有「長頸鹿」了。再則難道長脖子長頸鹿真的比短脖子的優秀嗎？短脖子的會不會行動較快速？會不會更容易喝到水？那為什麼短脖子不是最後的勝利者？答案或許是因為當年長頸鹿生存的環境，就是適合長脖子，可能掠食者較少，水分容易取得，但低處食物不多，因此加加減減起來，對長脖子有利。換個角度，如果當時它們生活的環境，掠食者很多，跑得慢的會被吃掉，沒有大樹只有草原，如此，長脖子和短脖子，誰有競爭優勢呢？現在地球會只有「短頸鹿」而無「長頸鹿」吧？（突現、難以預測）

環境會影響生物改變，但環境自己也會改變，例如地球的氣候持續地在冰河時期和反冰河時期變動著，甚至地球史上出現過好幾次大隕石撞擊地球造成氣候突然變動。生物不能肯定有哪一種性狀特別適合環境？或是適應未來的環境。就像是鳥類漂亮的羽毛原本是求偶利器，但自從人類出現後，尤其發展出商業貿易行為後，越有漂亮羽毛的鳥類越易被捕捉，那它們適合現今的地球環境嗎？（多因子互動、突現、難以預測）

今天古生物學家每發現到一個新化石，常常都會改寫生物演化史，因為都是沒辦法從現有證據去完全推論出古代生物為何？同樣的，百千萬年後地球的生物，也沒有辦法推論出來（突現、難以預測），因為我們不知道未來的千百萬年，這麼長的時間裡，地球的環境會有怎樣的改變？會不會有一顆類似當年摧毀恐龍

世界的大隕石再次撞擊地球？生物的基因會有怎樣的突變？我們可以確定的是，現今生活在地球上的生物，它們的祖先都是曾經具有生存優勢，而且運氣都極佳。

二、解釋類型融入演化的課文

生物要面對不斷變動的地球環境，若不能適應，便有可能漸漸被淘汰。就好比某些風靡一時的事物，也會隨著時代的變遷，而可能走入歷史。當我們去看生物適應變動的環境，我們其實就是在看「演化現象」，例如北極熊演變成現今的白色，而我們要解釋為何會有這些演化現象時，可以有兩個層面，一個是「**為什麼要？**」，另一個是「**為什麼能？**」，也就是「北極熊**為什麼要**變成白色？」以及「北極熊為什麼能夠變成白色？」第一個問題可以用「**功能**」的角度回答：因為這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，北極熊的白色使它適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。但第二個問題：「北極熊為**什麼能**夠變成白色呢？」這個問題可以用「**機制成因**」的角度回答，討論演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？

西元 1809 年法國科學家拉馬克，認為生物並非神所創造的，生物體本身就有一股力量，促使它們經長時間緩慢演化成更進步的其他物種，這股動力則是源自適應環境改變的需要。他以長頸鹿為何長頸為例，假設長頸鹿的祖先原本是短脖子，由於需要吃樹上的葉子，於是不斷地伸長脖子，最後造成脖子永久性拉長，

經代代相傳，於是造就了目前長頸鹿的模樣。然而這種後天努力造成性狀改變可以遺傳（用進廢退說），以及演化為更進步物種的說法，並沒有證據支持。拉馬克的用進廢退說雖是錯誤的，但很多人卻擁有這種錯誤想法，原因可能在於大部分人習慣用「功能」的角度直接回答問題。但實則現在科學界接受達爾文的**天擇說**，因為天擇說正確地說明了「生物為什麼能夠演化」。

演化的成因是生物在適應環境的過程中，受到環境長期篩選的結果。因為即使是同一物種，個體的構造與功能仍有差異性，當生存的環境或族群個體數過量時，會造成生存資源不足，於是導致生存競爭。由於每一個個體的適應力不盡相同，較能適應環境者的生存機會較大，它們的後代在整個族群中的比例自然會漸漸增加，因此整個族群的形態、構造與功能便出現隨環境變化而改變的現象。當這些變化的特徵代代相傳，累積到某一程度後便可形成新種。

達爾文當年提出天擇說時，有許多理論還不完備，目前科學家綜合了遺傳學、分類學等許多領域的研究，除了肯定天擇的部分內容外，也提出一些修正和擴充，例如確定了遺傳變異的原因是突變和有性生殖；生存競爭的重點並非殺死競爭者，而是在於留下更多的後代，才有個體接受天擇。而且生存下來的個體不一定都是最能適應環境者，在許多情況下，也可以是逃過意外傷害的「幸運者」生存下來。

所以，利用化石資料，我們可以推測出曾經在地球上生存過的生物種類，以及它們的生活方式，同時也得知生物會隨著時間和環境的演變而產生改變。

三、解釋類型與複雜系統共同融入

生物要面對不斷變動的地球環境，若不能適應，便有可能漸漸被淘汰。當我們去看生物適應變動的環境，我們其實就是在看「演化現象」，例如北極熊演變成現今的白色，而我們要解釋為何會有這些演化現象時，可以有兩個層面，一個是「**為什麼要？**」，另一個是「**為什麼能？**」，也就是「北極熊**為什麼要**變成白色？」以及「北極熊為什麼能夠變成白色？」第一個問題可以用「**功能**」的角度回答：因為這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，北極熊的白色使它適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。但第二個問題：「北極熊為**什麼能**夠變成白色呢？」這個問題可以用「**機制成因**」的角度回答，討論演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？

西元 1809 年法國科學家拉馬克，認為生物並非神所創造的，生物體本身就有一股力量，促使它們經長時間緩慢演化成更進步的其他物種，這股動力則是源自適應環境改變的需要。他以長頸鹿為何長頸為例，假設長頸鹿的祖先原本是短脖子，由於需要吃樹上的葉子，於是不斷地伸長脖子，最後造成脖子永久性拉長，經代代相傳，於是造就了目前長頸鹿的模樣。然而這種後天努力造成性狀改變可以遺傳（用進廢退說），以及演化為更進步物種的說法，並沒有證據支持。拉馬克的用進廢退說雖是錯誤的，但很多人卻擁有這種錯誤想法，原因可能在於大部分人習慣用「功能」的角度直接回答問題。

要如何用「機制成因」的角度來回答「生物為什麼能夠演化呢？」，必須先

了解演化是一個複雜的過程，牽涉的因素非常多，包括生物本身、其他生物、環境、時間等等。演化的發生，便是在這些因素的互動之下才能發生(多因子互動)。首先我們可以說，除了人類之外，沒有其他生物知道身體要作怎樣的改變，才是對自己有利的，長頸鹿本身並不知道脖子長短有何優劣？他體內的基因也無法知道要怎要才能變成長脖子？(無中央控制)。我們知道生物體有個別差異，如從前長頸鹿脖子有長有短。不管彼此間差異多大，都要公平的接受環境的考驗，在飢荒的年代，長脖子的長頸鹿因為能吃到高處的葉子，而短脖子長頸鹿卻得要和其他短脖子的草食性動物，競爭低處的樹葉和草，在嚴酷的考驗下，短脖子長頸鹿因此而漸漸淘汰，長脖子長頸鹿的比重逐漸增多，最後長頸鹿族群通通都是長脖子種類。

因此所謂的競爭，不一定是同種生物間的競爭而已，也有可能是和其他生物的競爭(多因子互動)。假使當年只有短脖子長頸鹿，則它們可能通通因為競爭不過其他草食動物而被淘汰，如此，現在也就沒有「長頸鹿」了。再則難道長脖子長頸鹿真的比短脖子的優秀嗎？短脖子的會不會行動較快速？會不會更容易喝到水？那為什麼短脖子不是最後的勝利者？答案或許是因為當年長頸鹿生存的環境，就是適合長脖子，可能掠食者較少，水分容易取得，但低處食物不多，因此加加減減起來，對長脖子有利。換個角度，如果當時它們生活的環境，掠食者很多，跑得慢的會被吃掉，沒有大樹只有草原，如此，長脖子和短脖子，誰有競爭優勢呢？現在地球會只有「短頸鹿」而無「長頸鹿」吧？(突現、難以預測)

環境會影響生物改變，但環境自己也會改變，例如地球的氣候持續地在冰河時期和反冰河時期變動著，甚至地球史上出現過好幾次大隕石撞擊地球造成氣候突然變動。生物不能肯定有哪一種性狀特別適合環境？或是適應未來的環境。就像是鳥類漂亮的羽毛原本是求偶利器，但自從人類出現後，尤其發展出商業貿易行為後，越有漂亮羽毛的鳥類越易被捕捉，那它們適合現今的地球環境嗎？（多因子互動、突現、難以預測）

今天古生物學家每發現到一個新化石，常常都會改寫生物演化史，因為都是沒辦法從現有證據去完全推論出古代生物為何？同樣的，百千萬年後地球的生物，也沒有辦法推論出來（突現、難以預測），因為我們不知道未來的千百萬年，這麼長的時間裡，地球的環境會有怎樣的改變？會不會有一顆類似當年摧毀恐龍世界的大隕石再次撞擊地球？生物的基因會有怎樣的突變？我們可以確定的是，現今生活在地球上的生物，它們的祖先都是曾經具有生存優勢，而且運氣都極佳。（1628 字，5 段 50 行）

附錄二：晤談題

晤談題

一、科學家用複製的方式，培育出數百株基因完全相同的一年生植物。現在將這些植物分別放在乾熱、冷濕兩種不同的環境中，試問：

（一）這些植物的下一代會有何變化？

（二）經過數年後，這些植物會演化成何樣？

（三）經過千年後，這些植物會如何？

二、如果地球現在不是溫室效應的越來越熱，而是邁向冰河時期的越來越冷，請推論一下，地球的生物（人類和其他生物），會有怎樣的變化？

（一）在短期（越來越冷的未來幾年）

（二）中期（進入酷寒的真正冰河時期）

（三）長期

三、現在認為當年恐龍的絕種，是因為六千多萬年前一個巨大隕石撞擊地球導致。想像一下，

（一）如果當年那一個隕石沒有撞擊地球，現在地球的生物會是如何？

（二）未來若再有隕石撞擊，地球生物（尤其是人類）又會如何？

附錄三：測驗題

單選題：

注意：圈選「其他」者，必須寫出理由，才能算對。　　得分：

5. 數萬年前，地球曾經有一種生物「愛爾蘭鹿」，雄鹿都具有可達三公尺長的大角，而且角越大者越容易得到雌鹿的青睞。這種鹿在大約一萬多年前絕滅，你覺得最可能的原因為：

（A）受到劍齒虎的過度捕殺，因而絕種。

（B）鹿的角演化得越來越大，最後脖子難以負荷大角的重量，因此死亡率提高，最後絕種。

（C）因為基因突變，導致鹿角變得很小，無法適應環境需求，因而絕種。

（D）因為氣候改變，導致原有的大角鹿不易存活，而新品種又未及時產生出來，因而絕種。

6. 十數萬年前，地球上的哺乳類都比現在的同類大得多，例如猛瑪象、大樹懶。這些生物都已消失成為化石，現在只剩較小型者。你覺得最可能的原因是：

（A）因為環境曾有過大變動，導致體型越大者，越不容易生存。

（B）因為食物不足，大型動物需要較多的食物，競爭比較激烈。

（C）地球上的生物原本就有由大往小演化的趨勢，如同古代有大恐龍，現在只有小蜥蜴。

（D）其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

7. 如果說：「人類算是現在地球最佔優勢的生物？」下列哪一個說法最合適？

（A）由演化的軌跡來看，人是地球生物演化的最後階段。

（B）人類可以改變自然、控制自然環境。

（C）人類由高等的猿猴類演化而來，不像其他生物由較低等的生物演化而來。

（D）人類比起其他生物，最適合當前地球的環境。

8. 生活在暗無天日洞穴裡頭水潭的魚，為何眼睛退化？

（A）眼睛退化者比有眼睛者，更適合在洞穴中生存。

（B）魚本來有眼睛，進入水潭生活後，因眼睛無用，因此漸漸變小，最後退化消失。

（C）一群魚有的有眼睛，有的沒眼睛，當共同在洞穴中生存時，有眼睛者反而比較容易被掠食者吃掉，最後只剩下無眼者。

（D）其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

9. 現在有醫生警告，不要濫用抗生素，因為出現了許多具有抗藥性的細菌，這些細菌之所以有抗藥性，是因為體內具有抗藥性基因。你認為一開始這些抗藥基因是怎樣出現的：

（A）細菌為了生存，想辦法讓自己具有抗藥性基因。

（B）抗藥性基因是因為遇到抗生素而自然產生。

（C）細菌屬於地球演化歷史上的強者，體內具有許多功能的基因，這些基因本來沒有能力，但被人類使用的藥物所喚醒。

（D）有些細菌碰巧突變，剛好產生了抗藥性。

10.北極熊的毛髮為何會是白的？請選擇最合適的答案。

（A）只有白毛髮，才能讓熊在北極冰天雪地下生存。

（B）很久以前，北極熊不是白色的，但為了適應北極的生活，因此演化成白色。

（C）北極熊的祖先也曾經有不是白色的，不過都已經絕跡，現在只剩下白色品種。

（D）其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

11.哆啦A夢（小叮噹）漫畫曾有個故事指出，二十三世紀的人類會變成頭大而手腳小。您覺得呢？

（A）對的，因為有著各類型機器的協助，人們不需再做費力的工作，手腳因此萎縮；思考的工作較多，腦袋因此發達。

（Ｂ）對的，原因＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（Ｃ）不對的。比較可能是頭大手腳也大，因為大部分人類都熱愛運動。

（Ｄ）不對的，原因＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

12.有人為了保育北極熊，便把大約一百多隻北極熊遷移到太平洋某熱帶無人島嶼之上（那個島嶼有許多生物生存，但沒有其他種類的熊）。經過一百年之後，其他人想起曾有這麼一回事，便登上那個島嶼觀察，你覺得他們最可能看到以下何種畫面？

（Ａ）原有的北極熊已都死亡，但還有看到它們的後代，不過數量減少，只剩兩三隻而已。

（Ｂ）原有的北極熊已都死亡，但還有看到它們的後代，也有些懷孕的母熊，不過它們肚內的胎兒，出生後長大會變成黑熊。

（Ｃ）已看不到原有的北極熊，但有些長得類似台灣黑熊者出沒。

（Ｄ）北極熊大量繁殖，島上都是北極熊。

13.科學家發現：給予老鼠特殊營養品，可以使老鼠能具有較強壯的肌肉且較活潑，若連續餵食五十代之後，你認為對於老鼠的子代會？

（Ａ）因為親代強壯的性狀會累積，未來子代一定會比親代更強壯。

（Ｂ）一代會比一代較強壯，但若後來不提供特殊營養品，會變成一代比一代虛弱。

（Ｃ）有餵食營養品就會強壯，沒餵食則普普通通。

（D）要考量的因素太多，在此難以回答。

14.一個正港台灣女性因為從小在非洲長大，膚色曬的較黑，後來她嫁給一位有類似身世的非洲台灣僑胞，之後生了小孩，他們的小孩出生時的皮膚顏色，應該會是？

（A）為了提前適應環境，所以出生時皮膚顏色會比父母還黑。

（B）父母的膚色都已經變黑，小孩出生時體色也會變比較黑。

（C）出生時皮膚顏色和一般的台灣嬰兒差不多，明顯比一般的非洲小孩白。

（D）其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

15.馬的祖先是一種體型比狗還小的始祖馬，根據化石記錄，馬的體型有變大的趨勢。今日的馬受到人類育種的影響，而有體型大小不一的情況。假如明天人類突然絕滅，馬都成為野生馬，請問一百年後，你預估馬會：

（A）絕種。原因：缺乏人類照料

（B）體型比現在的馬大。原因：少了人類的干預，回復到以往的演化趨勢。

（C）體型比現在的馬小。原因：少了人類的餵食，體型小的馬因為需要食物較少，比起體型大的馬有較佳的生存優勢。

（D）無法確定。原因：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

16.水黽是一種能適應水域，而在水面棲息的昆蟲。現在捕捉一些水黽，細心在飼養箱內照顧，但除了少許的飲用水之外，並不給予水黽多餘的水，所以水黽等於是在陸生環境中生存。如此經過十多年，若把當年那些水黽的後代放到水面，此時這些水黽：

（A）失去漂浮於水面的能力。原因：為適應飼養箱的陸生環境，因此失去漂浮能力。

（B）依舊具有漂浮能力。原因：迅速重新演化出漂浮能力。

（C）失去漂浮於水面的能力。原因： 在陸生環境培養時，某些不會漂浮的水黽後代出生了，而它們比起會漂浮者更易生存，最後所有水黽族群都失去了漂浮能力。

（D）依舊具有漂浮能力。原因：_____

17.地球的臭氧層破洞使得紫外線不斷照射到地球表面來，這些紫外線有害於生物，尤其是青蛙等兩生類。如果情況持續下去，你預期青蛙十萬年後最有可能會如何？

（A）突變成其他生物。

（B）絕種。原因_____

（C）繼續存活。原因_____

（D）其他_____

18.現已有一品種的結核桿菌，已能對抗青黴素、紅黴素、萬古黴素等多種抗生

素，你預計這一品種的細菌在未來的十年後會如何發展？

（A）在人類的努力和醫療的進步下，最終將此細菌滅絕。

（B）細菌為了生存，繼續發展出對抗更多種抗生素的能力。

（C）細菌演化成其他種類的生物。

（D）要考量的因素太多，在此難以預測。

19.十萬年後，如果人類還是地球最佔優勢的生物。下列哪個說法最合適？

（A）因為人類可持續適應未來十萬年地球的環境。

（B）因為人類可以改變自然、控制自然環境。

（C）因為人類是上帝選定的子民，注定要成為地球最佔優勢的生物。

（D）因為人會持續演化，改變型態繼續適應未來十萬年地球的環境。

20.把一群斑馬關在人類所建造的動物園裡，經過數十萬年之後，人類和動物園的設施都還維持原貌，而當時那群斑馬的後代，最有可能？

（A）已經演化成人類可騎乘的野馬。

（B）還是維持原來的斑馬樣子。

（C）已經演化成其他種生物。

（D）其他_____

21.木柵動物園裡飼養著一群黑猩猩，但地球全人類突因戰爭滅絕，因此這群黑猩猩自生自滅，經過數十萬年之後，你覺得當時那群黑猩猩的後代會變得如

何？

（Ａ）已經演化成人類。

（Ｂ）還是維持原來的黑猩猩樣子。

（Ｃ）已經演化成非人類的其他種生物。

（Ｄ）其他＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

22.曾有科學家認為，海豚是極聰明的生物，如果從前它們留在陸地上發展，有可能今日地球的主宰不是人類，而是海豚。假設 2010 年，地球的溫室效應使得陸地都沈沒，倖存的人類都漂浮在海面生活。如此經過數萬年，你覺得人類和海豚的關係會變得？

（Ａ）要考量的因素太多，在此難以預測。

（Ｂ）人類滅絕，海豚成為地球最優勢的生物。

（Ｃ）人類持續演化，變得適合海裡生活，與海豚和平共存。

（Ｄ）人類雖演化成適合在海裡生活，但海豚也持續演化，變成強力的掠食者，人類受到海豚的宰制。

附錄四：學習單—解釋類型組（E 組）

討論題目：

討論一：想一想，長頸鹿的脖子為何這麼的長？

答：

討論二：想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？

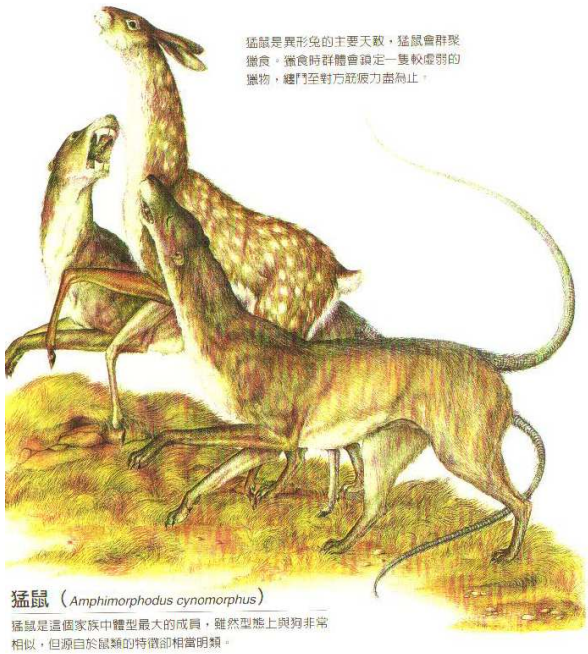
答：

討論三：想一想，北極熊為何是白毛

答：

討論四：

有科學家認為齧齒類（尤其是鼠類）在人類滅絕後，會成為地球上主要的肉食生物。因為齧齒類曾隨人類遍佈地球，在人類滅絕後，仍



可在遺跡中繁榮興旺。它們又具有特化的牙齒(前排門牙不斷生長,不怕磨損),幾乎什麼都可以吃。當鼠類數目增加,牙齒演化出新的形式,變長變尖,可以刺入並緊緊咬住獵物,溫帶地區的大型食草類動物(如鹿),過去是野狼的食物,未來則成為猛鼠(新品種鼠類)的盤中飧。

對於科學家的這種預言,你覺得合理嗎?

答:

生物要面對不斷變動的地球環境，若不能適應，便有可能漸漸被淘汰。就好比某些風靡一時的事物，也會隨著時代的變遷，而可能走入歷史。當我們去看生物適應變動的環境，我們其實就是在看「演化現象」，例如北極熊演變成現今的白色，而我們要解釋為何會有這些演化現象時，可以有兩個層面，一個是「**為什麼要？**」，另一個是「**為什麼能？**」，也就是「北極熊**為什麼要**變成白色？」以及「北極熊為什麼能夠變成白色？」第一個問題可以用「**功能**」的角度回答：因為這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，北極熊的白色使它適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。但第二個問題：「北極熊**為什麼能**夠變成白色呢？」這個問題可以用「**機制成因**」的角度回答，討論演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？

西元 1809 年法國科學家拉馬克，認為生物並非神所創造的，生物體本身就有一股力量，促使它們經長時間緩慢演化成更進步的其他物種，這股動力則是源自適應環境改變的需要。他以長頸鹿為何長頸為例，假設長頸鹿的祖先原本是短脖子，由於需要吃樹上的葉子，於是不斷地伸長脖子，最後造成脖子永久性拉長，經代代相傳，於是造就了目前長頸鹿的模樣。然而這種後天努力造成性狀改變可以遺傳（用進廢退說），以及演化為更進步物種的說法，並沒有證據支持。拉馬克的用進廢退說雖是錯誤的，但很多人卻擁有這種錯誤想法，原因可能在於大部分人習慣用「功能」的角度直接回答問題。但實則現在科學界接受達爾文的**天擇說**，因為天擇說正確地說明了「生物為什麼能夠演化」。

演化的成因是生物在適應環境的過程中，受到環境長期篩選的結果。因為即使是同一物種，個體的構造與功能仍有差異性，當生存的環境或族群個體數過量時，會造成生存資源不足，於是導致生存競爭。由於每一個個體的適應力不盡相同，較能適應環境者的生存機會較大，它們的後代在整個族群中的比例自然會漸漸增加，因此整個族群的形態、構造與功能便出現隨環境變化而改變的現象。當這些變化的特徵代代相傳，累積到某一程度後便可形成新種。

達爾文當年提出天擇說時，有許多理論還不完備，目前科學家綜合了遺傳學、分類學等許多領域的研究，除了肯定天擇的部分內容外，也提出一些修正和擴充，例如確定了遺傳變異的原因是突變和有性生殖；生存競爭的重點並非殺死競爭者，而是在於留下更多的後代，才有個體接受天擇。而且生存下來的個體不一定都是最能適應環境者，在許多情況下，也可以是逃過意外傷害的「幸運者」生存下來。

所以，利用化石資料，我們可以推測出曾經在地球上生存過的生物種類，以及它們的生活方式，同時也得知生物會隨著時間和環境的演變而產生改變。

演化的原理

一、討論演化時，其實有兩個不同層次的問題。

（一）為什麼要？（北極熊為什麼是白色？）

（二）為什麼能？（北極熊為什麼能夠變成白色？）

二、有何不同？

（一）為什麼要？探討了

答：

（二）為什麼能？探討了

答：

三、第一層問題，（為什麼要）的問題，可用（　　）來說明

四、第二層問題，（為什麼能）的問題，有以下三種說法：

（一）神創說：

（二）拉馬克：

（三）達爾文：

五、拉馬克的用進廢退說

（一）

（二）

（三）

身體構造有使用就進化（或發展出來），沒使用就退化（甚至消失）

（四）

六、拉馬克用進廢退的演化機制想法，已被淘汰，因為：

（一）用進廢退說要能成立，必須搭配

（　　）的想法。

（二）但「獲得性遺傳」的想法，違反了遺傳學定律

（三）親代遺傳給下一代的是（　　）

（四）能遺傳下去的基因，位在（　　）上。

（五）沒在配子基因上的不會遺傳。

七、達爾文的天擇說

五個因素或特性					
範例	長頸鹿脖子有長有短	長脖子容易吃得到樹葉	比短脖子生出更多後代	長脖子生出的小孩脖子也是長的	一群鹿中，長脖子的比率逐代提高

八、天擇說符合邏輯，且得到遺傳學的支持

（一）受到基因影響的（　　），如長頸鹿的長頸，可以遺傳下去

（二）基因的（　　）和（　　）可以造成個體差異或產生新的性狀。

再討論一：想一想，長頸鹿的脖子為何這麼的長？

答：

第一層解答：

第二層解答：

再討論二：想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？答：

答：

第一層解答：

第二層解答：

五個因素或特性	個別差異	存活力不同	生殖成功率不同	部分性狀可遺傳	差異逐代累積
範例					

討論三：想一想，北極熊為何是白毛答：

第一層解答：

第二層解答：

五個因素或特性	個別差異	存活力不同	生殖成功率不同	部分性狀可遺傳	差異逐代累積
範例					

討論四：

有科學家認為齧齒類（尤其是鼠類）在人類滅絕後，會成為地球上主要的肉食生物。因為齧齒類曾隨人類遍佈地球，在人類滅絕後，仍可在遺跡中繁榮興旺。它們又具有特化的牙齒（前排門牙不斷生長，不怕磨損），幾乎什麼都可以吃。當鼠類數目增加，牙齒演化出新的形式，變長變尖，可以刺入並緊緊咬住獵物，溫帶地區的大型食草類動物（如鹿），過去是野狼的食物，未來則成為猛鼠（新品種鼠類）的盤中飧。

對於科學家的這種預言，你覺得合理嗎？

答：

五個因素或	個別差異	存活力不同	生殖成功率	部分性狀可	差異逐代累

特性			不同	遺傳	積
範例					

- 還有其他討論問題嗎？

臨時討論一：第一層解答（為什麼要）:

第二層解答（為什麼能）:

五個因素或特性	個別差異	存活力不同	生殖成功率不同	部分性狀可遺傳	差異逐代累積
範例					

臨時討論二：第一層解答（為什麼要）:

第二層解答（為什麼能）:

五個因素或	個別差異	存活力不同	生殖成功率	部分性狀可	差異逐代累

特性			不同	遺傳	積
範例					

九、演化的原理—再探索

（一）第一層問題：生物為何要演化？

1、生物並不知道，如何演化（或具備何種構造）(　　)。

2、更不知道：要如何改變（如改變自己的基因）

3、但透過（　　），經過了漫長時間的作用，

4、人類可以觀察到：生物會朝著

(　　)。

（二）第二層問題：生物為何能夠演化？

1、不是所有生物都一定會演化。

2、首先個體要有（　　），

3、個體之間會（　　）

4、部分個體存活、生育（具生存及生殖優勢）

5、具優勢生存條件性狀者，其比率逐代累積

6、因此，朝著特定方向演化。

附錄五：學習單—複雜系統組（C 組）

討論題目：討論一：想一想，長頸鹿的脖子為何這麼的長？

答：

討論二：想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？

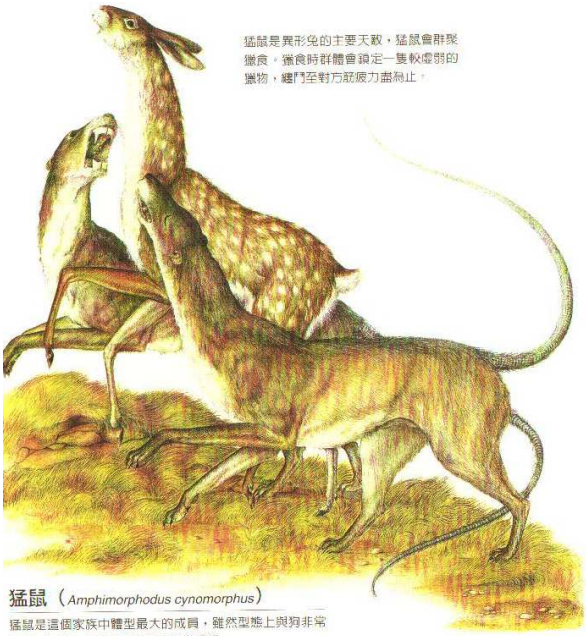
答：

討論三：想一想，北極熊為何是白毛？

答：

討論四：

有科學家認為齧齒類（尤其是鼠類）在人類滅絕後，會成為地球上主要的肉食生物。因為齧齒類曾隨人類遍佈地球，在人類滅絕後，仍可在遺跡中繁榮興旺。它們又具有



特化的牙齒（前排門牙不斷生長，不怕磨損），幾乎什麼都可以吃。當鼠類數目增加，牙齒演化出新的形式，變長變尖，可以刺入並緊緊咬住獵物，溫帶地區的大型食草類動物（如鹿），過去是野狼的食物，未來則成為猛鼠（新品種鼠類）的盤中飧。

對於科學家的這種預言，你覺得合理嗎？

答：

演化閱讀

我們都知道生物會演化，北極熊演變成現今的白色，竹節蟲演變成現今類似植物枝葉的體態，這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，白熊適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。長頸鹿的長脖子有利於其吃到高處的樹葉。但演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？

演化是一個複雜的過程，牽涉的因素非常多，包括生物本身、其他生物、環境、時間等等。演化的發生，便是在這些因素的互動之下才能發生(多因子互動)。首先我們可以說，除了人類之外，沒有其他生物知道身體要作怎樣的改變，才是對自己有利的，長頸鹿本身並不知道脖子長短有何優劣？他體內的基因也無法知道要怎要才能變成長脖子？(無中央控制)。我們知道生物體有個別差異，如從前長頸鹿脖子有長有短。不管彼此間差異多大，都要公平的接受環境的考驗，在飢荒的年代，長脖子的長頸鹿因為能吃到高處的葉子，而短脖子長頸鹿卻得要和其他短脖子的草食性動物，競爭低處的樹葉和草，在嚴酷的考驗下，短脖子長頸鹿因此而漸漸淘汰，長脖子長頸鹿的比重逐漸增多，最後長頸鹿族群通通都是長脖子種類。

因此所謂的競爭，不一定是同種生物間的競爭而已，也有可能是和其他生物的競爭(多因子互動)。假使當年只有短脖子長頸鹿，則它們可能通通因為競爭不過其他草食動物而被淘汰，如此，現在也就沒有「長頸鹿」了。再則難道長脖

子長頸鹿真的比短脖子的優秀嗎？短脖子的會不會行動較快速？會不會更容易喝到水？那為什麼短脖子不是最後的勝利者？答案或許是因為當年長頸鹿生存的環境，就是適合長脖子，可能掠食者較少，水分容易取得，但低處食物不多，因此加加減減起來，對長脖子有利。換個角度，如果當時它們生活的環境，掠食者很多，跑得慢的會被吃掉，沒有大樹只有草原，如此，長脖子和短脖子，誰有競爭優勢呢？現在地球會只有「短頸鹿」而無「長頸鹿」吧？**（突現、難以預測）**

環境會影響生物改變，但環境自己也會改變，例如地球的氣候持續地在冰河時期和反冰河時期變動著，甚至地球史上出現過好幾次大隕石撞擊地球造成氣候突然變動。生物不能肯定有哪一種性狀特別適合環境？或是適應未來的環境。就像是鳥類漂亮的羽毛原本是求偶利器，但自從人類出現後，尤其發展出商業貿易行為後，越有漂亮羽毛的鳥類越易被捕捉，那它們適合現今的地球環境嗎？**（多因子互動、突現、難以預測）**

今天古生物學家每發現到一個新化石，常常都會改寫生物演化史，因為都是沒辦法從現有證據去完全推論出古代生物為何？同樣的，百千萬年後地球的生物，也沒有辦法推論出來**（突現、難以預測）**，因為我們不知道未來的千百萬年，這麼長的時間裡，地球的環境會有怎樣的改變？會不會有一顆類似當年摧毀恐龍世界的大隕石再次撞擊地球？生物的基因會有怎樣的突變？我們可以確定的是，現今生活在地球上的生物，它們的祖先都是曾經具有生存優勢，而且運氣都極佳。

演化的原理

一、拉馬克用進廢退的演化機制想法，已被淘汰因為：

（一）用進廢退說要能成立，必須搭配

（　　）的想法。

（二）但「獲得性遺傳」的想法，違反了遺傳學定律

（三）親代遺傳給下一代的是（　　）

（四）能遺傳下去的基因，位在（　　）上。

（五）沒在配子基因上的不會遺傳。

二、達爾文的天擇說

五個因素或特性					
範例	長頸鹿脖子有長有短	長脖子容易吃得到樹葉	比短脖子生出更多後代	長脖子生出的小孩脖子也是長的	一群鹿中，長脖子的比率逐代提高

三、天擇說符合邏輯，且得到遺傳學的支持

（一）受到基因影響的（性狀），如長頸鹿的長頸，可以遺傳下去

（二）基因的（突變）和（　　）可以造成個體差異或產生新的性狀。

四、但達爾文的天擇說，不足以全盤解釋生物的演化

因為

（一）不是只有「生存優勢」者，才有機會生存或生殖。

1、還有其它可能也會影響生存和生殖。

2、例如：

（二）另外，「生存優勢」的定義，也不是只有一種？

1、以當年長頸鹿生活的環境為例

2、短脖子長頸鹿有無優勢？

（1）

（2）

3、也就是說，生存競爭的優勢，不單純是「吃不吃得到樹葉」來決定

4、而是：

包括

（一）互動一：

基因的突變，和眾多基因的互動，使得長頸鹿脖子有長有短

（二）互動二：

競爭食物、飲水、配偶、、、。

（三）互動三：

1、與其他草食生物：有哪些草食生物？競爭了什麼？

2、與掠食者：有哪些掠食者？誰比較會被吃？

（四）互動四：

（五）互動五：

（六）互動六：、、、

五、達爾文天擇說很正確，但過於簡化。

（一）修正：

1、在考量生存優勢時，要考慮到（　　）後，才能決定何者具有生存優勢。如上述例子。

2、因子互動的重要性大於（　　）。例如長脖子長頸鹿的優勢，不再長脖子本身一定有優勢，而在長脖子和各種因素互動之後的結果。

3、優勢條件（何者為優勢？）會持續不斷的（　　）。

4、由於互動因子太多、互動狀況會變、演化的最終結果是

（　　）。

（二）包括以下特性：

特性				
例子	長脖子的優勢，來自 ● 脖子長度、 ● 食物來源、 ● 其他物種競爭者、 ● 掠食者？ ● 水分取得、 ● 當時氣候 、、、等許多因子的互動	脖子長短本身並非是優勢， 和其他因子互動的結果，才能決定其優勢。	隨著環境的改變、時間的延續， 因子的互動狀況也持續在變 長脖子也有可能未必是優勢	由於互動因子太多、 互動狀況會變、 演化的最終結果是不可預知的。

六、演化結果難以預測

（一）由於演化是複雜系統運作後的結果，因此難以預測。

（二）除非知道：

1.

2.

再討論四：

有科學家認為齧齒類（尤其是鼠類）在人類滅絕後，會成為地球上主要的肉食生物。因為齧齒類曾隨人類遍佈地球，在人類滅絕後，仍可在遺跡中繁榮興旺。它們又具有特化的牙齒（前排門牙不斷生長，不怕磨損），幾乎什麼都可以吃。當鼠類數目增加，牙齒演化出新的形式，變長變尖，可以刺入並緊緊咬住獵物，溫帶地區的大型食草類動物（如鹿），過去是野狼的食物，未來則成為猛鼠（新品種鼠類）的盤中飧。

對於科學家的這種預言，你覺得合理嗎？是唯一的可能嗎？

答：

五個因素或特性	多因子互動	因子互動的重要性大於因子	動態的、不停止的	突現、不可預測

		本身特性		
說明				

再討論二：想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？答：

答：

五個因素或特性	多因子互動	因子互動的重要性大於因子本身特性	動態的、不停止的	突現、不可預測
說明				

再討論三：想一想，北極熊為何是白毛答：

五個因素或特性	多因子互動	因子互動的重要性大於因子本身特性	動態的、不停止的	突現、不可預測
說明				

七、演化的原理—再探索

（一）生物為何要演化？

1、生物並不知道，如何演化（或具備何種構造）(　　)。

2、更不知道：要如何改變（如改變自己的基因）

3、但透過（　　），經過了漫長時間的作用，

4、人類可以觀察到：生物會朝著

（　　）。

（二）生物為何能夠演化？

1、不是所有生物都一定會演化。

2、首先個體要有（　　），

3、個體之間、個體與環境間會（　　）

4、部分個體存活、生育（具生存及生殖優勢）

5、具優勢生存條件性狀者，其比率逐代累積

6、因此，朝著特定方向演化。

八、如何預測某一生物未來演化的結果？

必須能掌握：

（一）個體間會有何差異

1、個體目前有哪些差異，會影響（　　）

2、生物未來能產生何種（　　）

（二）演化的發生

1、天擇說：

2、有哪些因子，會影響演化的方向？

3、這些因子有何互動？

兩兩之間、諸多因子之間

4、這些因子的互動關係會變動

5、還要考量：任何一個 (　　)

（1）地震、火山、隕石

（2）例如恐龍的絕種

九、以上各項難以全盤掌握，因此演化的結果：

附錄六：學習單—解釋類型與複雜系統共同融入組（EC 組）

討論題目：

討論一：想一想，長頸鹿的脖子為何這麼的長？

答：

討論二：想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？

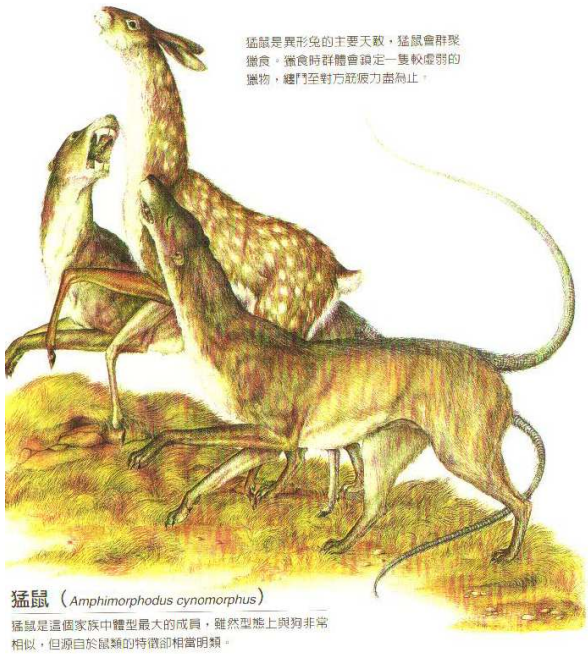
答：

討論三：想一想，北極熊為何是白毛

答：

討論四：

有科學家認為齧齒類（尤其是鼠類）在人類滅絕後，會成為地球上主要的肉食生物。因為齧齒類曾隨人類遍佈地球，在人類滅絕後，仍



可在遺跡中繁榮興旺。它們又具有特化的牙齒(前排門牙不斷生長,不怕磨損),幾乎什麼都可以吃。當鼠類數目增加,牙齒演化出新的形式,變長變尖,可以刺入並緊緊咬住獵物,溫帶地區的大型食草類動物(如鹿),過去是野狼的食物,未來則成為猛鼠(新品種鼠類)的盤中飧。

對於科學家的這種預言,你覺得合理嗎?

答:

演化閱讀

生物要面對不斷變動的地球環境，若不能適應，便有可能漸漸被淘汰。當我們去看生物適應變動的環境，我們其實就是在看「演化現象」，例如北極熊演變成現今的白色，而我們要解釋為何會有這些演化現象時，可以有兩個層面，一個是「**為什麼要？**」，另一個是「**為什麼能？**」，也就是「北極熊**為什麼要**變成白色？」以及「北極熊為什麼能夠變成白色？」第一個問題可以用「**功能**」的角度回答：因為這種演變對於該生物而言，具有一定的好處，北極熊的白色使它適合在冰天雪地的北極生長，因為可以掩蔽行蹤。但第二個問題：「北極熊**為什麼能**夠變成白色呢？」這個問題可以用「**機制成因**」的角度回答，討論演化的過程到底是如何呢？生物為何能朝著有利於自己生存的方向演化呢？

西元 1809 年法國科學家拉馬克，認為生物並非神所創造的，生物體本身就有一股力量，促使它們經長時間緩慢演化成更進步的其他物種，這股動力則是源自適應環境改變的需要。他以長頸鹿為何長頸為例，假設長頸鹿的祖先原本是短脖子，由於需要吃樹上的葉子，於是不斷地伸長脖子，最後造成脖子永久性拉長，經代代相傳，於是造就了目前長頸鹿的模樣。然而這種後天努力造成性狀改變可以遺傳（用進廢退說），以及演化為更進步物種的說法，並沒有證據支持。拉馬克的用進廢退說雖是錯誤的，但很多人卻擁有這種錯誤想法，原因可能在於大部分人習慣用「功能」的角度直接回答問題。

要如何用「機制成因」的角度來回答「生物為什麼能夠演化呢？」，必須先

了解演化是一個複雜的過程，牽涉的因素非常多，包括生物本身、其他生物、環境、時間等等。演化的發生，便是在這些因素的互動之下才能發生(多因子互動)。首先我們可以說，除了人類之外，沒有其他生物知道身體要作怎樣的改變，才是對自己有利的，長頸鹿本身並不知道脖子長短有何優劣？他體內的基因也無法知道要怎要才能變成長脖子？(無中央控制)。我們知道生物體有個別差異，如從前長頸鹿脖子有長有短。不管彼此間差異多大，都要公平的接受環境的考驗，在飢荒的年代，長脖子的長頸鹿因為能吃到高處的葉子，而短脖子長頸鹿卻得要和其他短脖子的草食性動物，競爭低處的樹葉和草，在嚴酷的考驗下，短脖子長頸鹿因此而漸漸淘汰，長脖子長頸鹿的比重逐漸增多，最後長頸鹿族群通通都是長脖子種類。

因此所謂的競爭，不一定是同種生物間的競爭而已，也有可能是和其他生物的競爭(多因子互動)。假使當年只有短脖子長頸鹿，則它們可能通通因為競爭不過其他草食動物而被淘汰，如此，現在也就沒有「長頸鹿」了。再則難道長脖子長頸鹿真的比短脖子的優秀嗎？短脖子的會不會行動較快速？會不會更容易喝到水？那為什麼短脖子不是最後的勝利者？答案或許是因為當年長頸鹿生存的環境，就是適合長脖子，可能掠食者較少，水分容易取得，但低處食物不多，因此加加減減起來，對長脖子有利。換個角度，如果當時它們生活的環境，掠食者很多，跑得慢的會被吃掉，沒有大樹只有草原，如此，長脖子和短脖子，誰有競爭優勢呢？現在地球會只有「短頸鹿」而無「長頸鹿」吧？(突現、難以預測)

環境會影響生物改變，但環境自己也會改變，例如地球的氣候持續地在冰河時期和反冰河時期變動著，甚至地球史上出現過好幾次大隕石撞擊地球造成氣候突然變動。生物不能肯定有哪一種性狀特別適合環境？或是適應未來的環境。就像是鳥類漂亮的羽毛原本是求偶利器，但自從人類出現後，尤其發展出商業貿易行為後，越有漂亮羽毛的鳥類越易被捕捉，那它們適合現今的地球環境嗎？**（多因子互動、突現、難以預測）**

今天古生物學家每發現到一個新化石，常常都會改寫生物演化史，因為都是沒辦法從現有證據去完全推論出古代生物為何？同樣的，百千萬年後地球的生物，也沒有辦法推論出來**（突現、難以預測）**，因為我們不知道未來的千百萬年，這麼長的時間裡，地球的環境會有怎樣的改變？會不會有一顆類似當年摧毀恐龍世界的大隕石再次撞擊地球？生物的基因會有怎樣的突變？我們可以確定的是，現今生活在地球上的生物，它們的祖先都是曾經具有生存優勢，而且運氣都極佳。

演化的原理

一、討論演化時，其實有兩個不同層次的問題。

（一）為什麼要？（北極熊為什麼是白色？）

（二）為什麼能？（北極熊為什麼能夠變成白色？）

二、有何不同？

（一）為什麼要？探討了

1、答：

（二）為什麼能？探討了

1、答：

（三）第一層問題，以（　　）來說明

（四）第二層問題，有以下四種說法：

1、神創說：

2、拉馬克：

3、達爾文：

4、二十世紀末發展的：

三、拉馬克的用進廢退說

（一）

（二）

（三）

身體構造有使用就進化（或發展出來），沒使用就退化（甚至消失）

（四）

四、拉馬克用進廢退的演化機制想法，已被淘汰，因為：

（一）用進廢退說要能成立，必須搭配

（　　）的想法。

（二）但「獲得性遺傳」的想法，違反了遺傳學定律

（三）親代遺傳給下一代的是（　　）

（四）能遺傳下去的基因，位在（　　）上。

（五）沒在配子基因上的不會遺傳。

五、達爾文的天擇說

五個因素或特性					

範例	長頸鹿脖子有長有短	長脖子容易吃得到樹葉	比短脖子生出更多後代	長脖子生出的小孩脖子也是長的	一群鹿中，長脖子的比率逐代提高

六、天擇說符合邏輯，且得到遺傳學的支持

（一）受到基因影響的（　　），如長頸鹿的長頸，可以遺傳下去

（二）基因的（　　）和（　　）可以造成個體差異或產生新的性狀。

七、但達爾文的天擇說，不足以全盤解釋生物的演化

因為

（一）不是只有「生存優勢」者，才有機會生存或生殖。

1、例如：

（二）另外，何謂「生存優勢」？

1、以當年長頸鹿生活的環境為例

2、短脖子長頸鹿有無優勢？

（1）運動速度

（2）喝水方便度

3、生存競爭的優勢，不全取決於「吃不吃得到樹葉」

4、而是：

包括

（一）互動一：

基因的突變，和眾多基因的互動，使得長頸鹿脖子有長有短

（二）互動二：

競爭食物、飲水、配偶、、、。

（三）互動三：

1、與其他草食生物：有哪些草食生物？競爭了什麼？

2、與掠食者：有哪些掠食者？誰比較會被吃？

（四）互動四：

（五）互動五：

（六）互動六：、、、

八、達爾文天擇說很正確，但過於簡化。

多思考以下特性：

特 性				

例子	長脖子的優勢，來自 ● 脖子長度、 ● 食物來源、 ● 其他物種競爭者、 ● 掠食者？ ● 水分取得、 ● 當時氣候 、、、等許多因子的互動	脖子長短本身並非是優勢， 和其他因子互動的結果，才能決定其優勢。	隨著環境的改變、時間的延續， 因子的互動狀況也持續在變 長脖子也有可能未必是優勢	由於互動因子太多、 互動狀況會變、 演化的最終結果是不可預知的。

九、演化結果難以預測

（一）由於演化是複雜系統運作後的結果，因此難以預測。

（二）除非知道：

3.

4.

再討論四：

有科學家認為齧齒類（尤其是鼠類）在人類滅絕後，會成為地球上主要的肉食生物。因為齧齒類曾隨人類遍佈地球，在人類滅絕後，仍可在遺跡中繁榮興旺。它們又具有特化的牙齒（前排門牙不斷生長，不怕磨損），幾乎什麼都可以吃。當鼠類數目增加，牙齒演化出新的形式，變長變尖，可以刺入並緊緊咬住獵物，溫

帶地區的大型食草類動物（如鹿），過去是野狼的食物，未來則成為猛鼠（新品種鼠類）的盤中飧。

對於科學家的這種預言，你覺得合理嗎？是唯一的可能嗎？

答：

五個因素或特性	多因子互動	因子互動的重要性大於因子本身特性	動態的、不停止的	突現、不可預測
說明				

再討論二：想一想，洞穴中的魚為何會是盲眼？答：

第一層解答（為什麼要）：

第二層解答（為什麼能）：

再討論三：想一想，北極熊為何是白毛第一層解答（為什麼要）:

第二層解答（為什麼能）:

十、演化的原理—再探索

（一）生物為何要演化？

1、生物並不知道，如何演化（或具備何種構造）(　　)。

2、更不知道：要如何改變（如改變自己的基因）

3、但透過（　　），經過了漫長時間的作用，

4、人類可以觀察到：生物會朝著

(　　)。

（二）生物為何能夠演化？

1、不是所有生物都一定會演化。

2、首先個體要有（　　），

3、個體之間、個體與環境間會（　　）

4、部分個體存活、生育（具生存及生殖優勢）

5、具優勢生存條件性狀者，其比率逐代累積

6、因此，朝著特定方向演化。

十一、如何預測某一生物未來演化的結果？

必須能掌握：

（一）個體間會有何差異

1、個體目前有哪些差異，會影響（　　）

2、生物未來能產生何種（　　）

（二）演化的發生

1、天擇說：

（1）

2、有哪些因子，會影響演化的方向？

（1）

3、這些因子有何互動？

（1）兩兩之間、諸多因子之間

4、這些因子的互動關係會變動

5、還要考量：任何一個（　　）

（1）地震、火山、隕石

（2）例如恐龍的絕種

十二、以上各項難以全盤掌握，因此演化的結果其實是：