

省思科學教學—由解釋、 科學解釋類型的觀點

湯偉君^{1*} 邱美虹²

¹臺北市立萬芳高中

²國立臺灣師範大學科學教育所

* weiyee@ms16.hinet.net

(投稿日期：2010.3.25；修正日期：2010.6.17；接受日期：2010.7.30)

摘 要

「解釋」是教室中師生相互溝通彼此想法的行動。在各種解釋類型中，「科學解釋」有其重要地位，科學解釋亦可進一步區分出四種類型。本文便試著以解釋、科學解釋的定義和類型為基礎，提供省思科學教學的新觀點。經由文獻探討及分析，本文認為不同類型的科學解釋，似乎代表著不同科學學科的本質。其次，筆者發現在不同學習階段的生物科課程標準中，科學解釋類型有著不同分佈。然而，科學解釋雖然有其權威性，但在教學現場中，並非科學教育者的唯一或常用手段。同時，國高中生物教科書裡和實際師生教學互動過程中，常使用的解釋類型不完全相同。筆者認為一位科學教學者，有必要瞭解解釋和科學解釋的意義和其在科學教學中的重要性。

關鍵字：功能性解釋、科學解釋、解釋

壹、前言

解釋是人類的基本需求，當兩、三歲的小孩開始向父母問起「為什麼」時，便明顯表現出需要解釋的這項需求。在教學中，解釋也是教室中常見的師生互動行為，在學校裡，當教師和學生一同探討某一自然現象的起因時，教師和學生都持續在做至少兩項工作，一是提出問題讓另一方解釋，另一是因應對方的問題提出解釋。邱美虹與林秀蓁（2004）亦發現教師若提供學生更多預測和解釋的機會，則學生學習成就較高。因此「解釋」在科學教學活動中有其重要的地位，探討「解釋」對科學教育研究，應有一定的貢獻。

解釋的出現，通常是為了因應自己或他人提出的問題而進行的認知活動。換一個角度，當某人向我們解釋某事，我們會有不同程度的信服，這種不同信服程度，自然受到許多理性與非理性因素的影響。非理性的因素包括宗教、信念、價值、偏好、個性等（楊文金，1998，2000），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為何？在所有的解釋中，「科學解釋」便具有此能力。科學解釋似乎有其權威性（陳恆安，2005），一個解釋如果冠上「科學」的標誌，對於普羅大眾而言，就代表了正確、合理、令人信服。例如「氣功」、「星象」、「星座」和「命相」都要尋求科學解釋，以試圖贏得地位。但什麼又是科學解釋？一個解釋要能被稱之為科學的，必須具備何條件？以下將就此主題加以討論。

雖然科學解釋有其權威和說服力，但在科學教室中，學生並不會因為科學解釋的強大理性而完全的信服和瞭解，這是科學學習心理學研究中所常探討的。本文不擬深究為何科學解釋之所以難被一些學生接受的議題，只探討在科學教科書、科學教室，甚至課程綱要裡，也就是實際科學教室現場裡，可能具備哪些不同的解釋類型。換言之，本文擬從解釋類型此一角度分析科學教學，並期望能提供科學教師新的角度來反思自己的教學歷程。

貳、解釋與科學解釋

一、解釋的意義及類型

「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。」

解釋具有許多類型，例如 Thagard (1992) 以方法論的角度，將解釋區分成演繹 (deductive)，統計 (statistical)，基模 (schematic)，類比 (analogical)，因果 (causal)，語言與實用 (linguistic and pragmatic) 等六類。又如 Salmon (1998) 曾以解釋這種行動所因應的對象，也就是問題類型，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，如圖 1。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、一個單字、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。

在諸多學者中，Wesley C. Salmon 被公認是現今探討解釋最完整的學者 (Godfrey-Smith, 2003; Thagard, 1992)。他指出：在科學的領域中，都有上述三類解釋，例如解釋如何操作一具新儀器 (how)，解釋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「為何我的寵物狗小白會老死而離開我」時，他們要的其實不是解釋，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」。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。

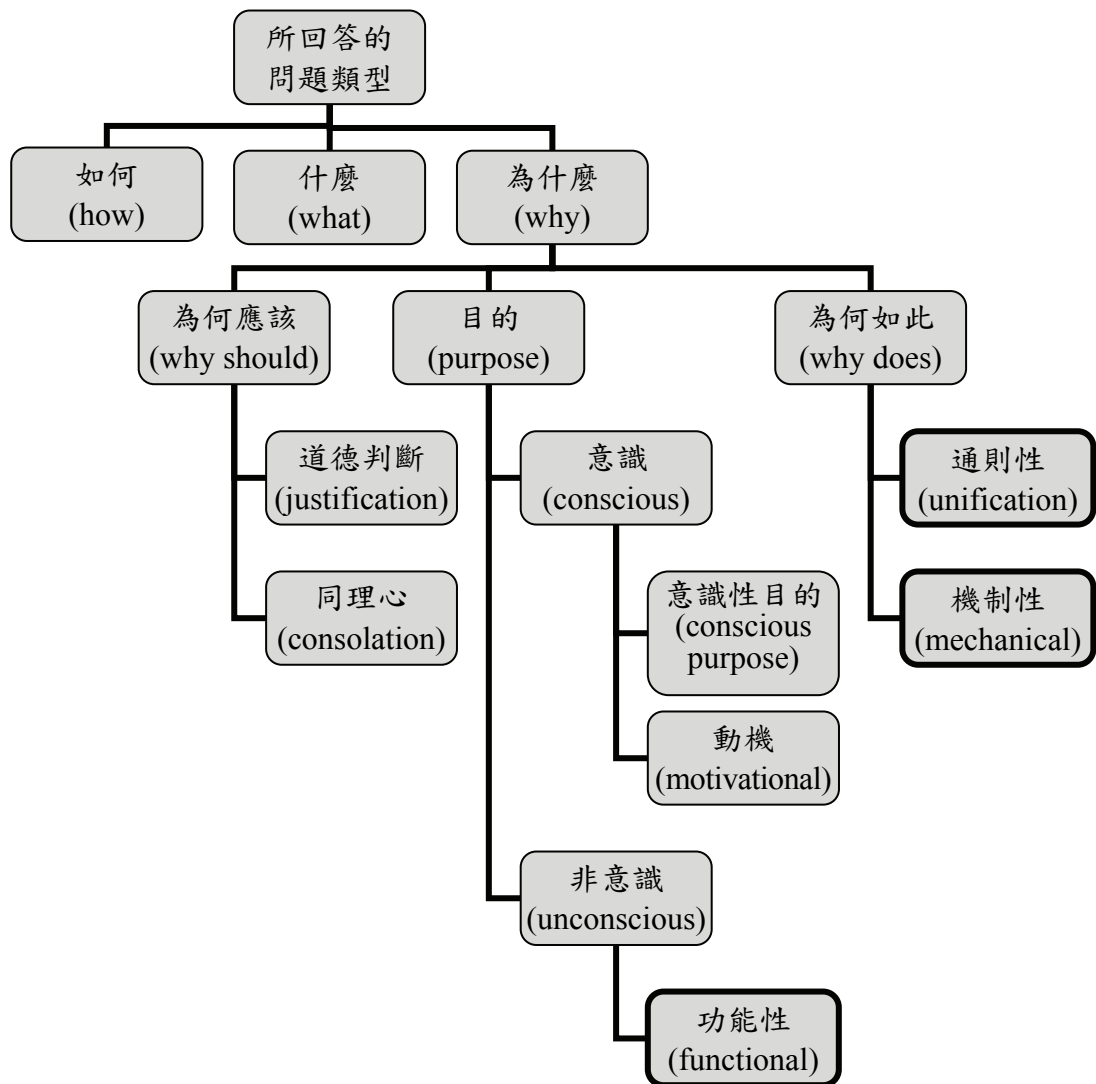


圖1 Salmon (1988) 以行動所因應之對象區分解釋的類型
 註：圖中加黑框處，為 Salmon 所認可的科學解釋

二、科學解釋的意義和類型

解釋不一定是科學解釋，作為地位崇高的「科學解釋」有其特定的規範。最知名、最早為科學解釋定下規範或定義者是 Hempel (1965)，他的涵蓋律模式 (covering law model) 曾是論述科學解釋最著名的典範 (Salmon, 1989)。主張涵蓋律模式的科學哲學家，堅持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，科學解釋之所以未能符合理想模式，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; 曹志平, 2003)。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 (1965) 的 D-N model 和 I-S model，即使倍受批評，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。

Dupre (1993) 曾為「科學的」一詞下個判準，他指出最能符合「科學的」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。

但物質主義其實只是化約論的一部份，Sterelny 與 Griffiths (1999) 指出化約一字，其實有三個意思：(一) 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「科學」，也更令人信服。(二) 分解 (decomposition)：依此概念，科學探究的目標在於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。前面所提企圖以物

質主義來全盤解釋生命的野心，便是來自「分解」這一類的化約觀。(三)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。

自覺深受 Hempel (1965) 啟發的 Salmon (1984, 1989, 1998) 則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 (1965) 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, 1989, 1998; Thagard, 1992)。在 D-N model 和 I-S Model 裡必備的定律，不一定是因果定律，涵蓋律裡並不需要因果做為解釋的必備成分 (Salmon, 1998)，也就是說，他們不認為因果在科學解釋上扮演重要角色。

第二個傳統則是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 (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。

Salmon (1998) 認為只有其中三種解釋，可算是科學解釋 (見圖 1)：功能性解釋及兩種回答「為何如此」的解釋：通則性 (unification) 和機制性 (causal-mechanical)。功能性解釋在部分科學領域普遍採用，且有簡化溝通的功能，因為不具意識性，並不同於目的論解釋，因此在科學中仍屬合法 (legitimate, 將於下一節中再討論)。通則和因果機制，在 Salmon (1998) 的眼中，則為典型的「科學解釋」。通則性解釋，又稱定律性解釋，另稱為世界圖像 (world picture)，用一套通則定律來解釋事件，不需涉及因果傳遞，屬於前段所述解釋的第一個傳統，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。機制性解釋則是源自解釋的第二個傳統，這類型的科學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，則如解釋蛋白質的合成機制，因此這種解釋又可稱為是「打開黑盒子」 (opening black box)。

整合前述學者所言，筆者認為：科學解釋早已非邏輯實證或經驗學派的涵蓋律所能定義，而應就討論因果與否，將科學解釋分成兩大類，忽略因果的有通則性與分解性兩種，重視因果的有功能性、機制性兩種（圖 2）。雖然沒有正式進行研究，但相信「科學研究場域中充斥著這些類型解釋」此語，是很難駁倒的。上文曾指出，有些解釋類型，例如功能性解釋只會在某些學科中出現，這似乎暗示著可以由不同學科具備的解釋類型來一窺學科本質，另一角度言之，是否任何自然現象都要同時尋求這幾種解釋呢？下一小節將討論之。

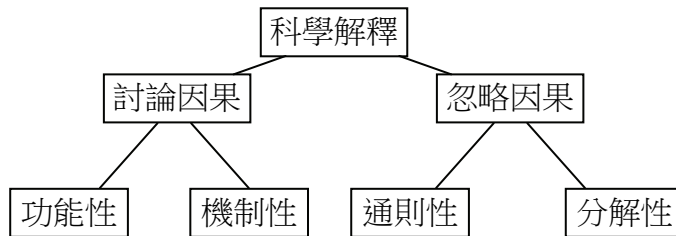


圖 2 筆者所提議的科學解釋類型區分

三、科學解釋類型與學科本質

同樣是自然科學，不同學科之間似有其明顯不同之本質，尤其是生命科學與物質科學間的分野，生物哲學的某些議題便著墨於此，探討生命科學的哲學家認為生命科學具整體論或是突現本質，具複雜系統特性，不可能完全化約至物理或化學等物質科學（湯偉君、邱美虹，2007； Sterelny & Griffiths, 1999）。

除了以複雜系統特性或整體論角度區分生命科學與物質科學的不同學科本質外，筆者也認為可以從科學解釋類型的適用性，觀察到物質科學（如物理、化學等）與生命科學（如生物學、心理學等）的不同。我們可以從兩個角度觀之，第一個為功能性解釋在生命科學領域的普遍性；其次，沒有一個學科可以「通吃」這四類型，例如在物質科學領域常見的通則性解釋，在生命科學領域反而是罕見的。

首先討論第一角度：功能性在生命科學的合法性。Salmon (1998) 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。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，因此目的論解釋可說是一種非科學性的解釋。但當代非意識目的之「功能性」解釋，仍普遍出現在與生命活動相關的生物學或社會學、人類學、心理學等領域。

Salmon (1998) 強調功能性解釋在科學中的合法地位，他常以佛洛伊德的精神分析做為例子。佛洛伊德把夢的產生視作是「為了」填補潛意識的「需求」，這種以「為了某一功用」來解釋「夢」現象出現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，例如有一待解釋的現象：「大象耳朵為何那麼大？」可以用：「因為體型太大，必須用這個方法（加大表面積）散熱」來解釋，而這個解釋項使用的說服技巧是：「大耳朵具有某一功能，因此會存在。」因此也屬於一種功能性解釋。

功能性解釋常被認為是不合法、不完全，原因有以下三點 (Salmon, 1998)：(一) 功能性解釋常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) 原有源自邏輯實證派的 Hempel (1965) 觀點，對「科學解釋」的想法，並沒有納入功能性解釋，因為依其對「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 (1998) 逐一提出反駁：關於涉及目的論和擬人化方面，他認為：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，例如一待解釋項：「沙漠兔為何具有大耳？」，常用的解釋為「因為大耳可以散熱」，如果解釋者能理解「沙漠兔沒有『意識』到大耳可以散熱，因此不會『特意』長出大耳」，則「因為大耳可以散熱」這個解釋，不能算是目的論解釋。反之，若解釋者本意是「沙漠兔『本質』上認定大耳可以散熱，因而『特意』長出大耳」，則該解釋涉及到目的論想法。他的想法是：當生物學解釋現象時，解釋者用的是非目的論想法，因此不屬於目的論或擬人化，而僅是單純的「功能性解釋」；關於時間順序的侵犯，則同以沙漠兔子有散熱的大耳為例，雖然看似用「大耳可以散熱」這個好處（後果），來解釋「為何有大耳」（前因），違反了時間順序，但可以把兔子和大耳分離來看，大耳在「過去」已可被證明可以有效散熱，即使兔子頭上沒大耳，大耳仍對溫度之調節有效，如此可擺脫時間順序的糾纏；關於之前的科學解釋類型

未能含括功能性解釋上，Salmon (1998) 則認為這可能是邏輯實證論者科學解釋的理論尚不完整所致。

高中生物¹教科書說明痕跡器官之所以存在時，所用的解釋項為：「人類在演化過程中因食性改變，吃的植物越來越少，故盲腸逐漸喪失消化功能而變小。」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：「某種東西或現象因為沒有功能，所以不會存在」。不過，筆者也常聽聞高中生物教師們會擔心；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」。以此方式解釋，是否會造成迷思概念？

面對此問題，筆者認為首先必須先區分目的論解釋與功能性解釋並不完全相同，更精確一點說，功能性解釋屬於目的論解釋的一類，但相較於創造論或亞里斯多德物理學等，被汰除的有意識目的論解釋，屬於無意識目的功能性之解釋仍有存在的必要，因為可以簡化溝通。可以用簡單的數句話，而不需用詳盡的演化理論便可說明一個演化現象的產生。對功能性解釋存在於生物學的必要，Abrams 與 Southland (2001) 亦有類似的看法。

Sterelny 與 Griffiths (1999) 曾指出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，就算在地球生物關係中，找到某種規律，那也只限於這個地球，談不上是定律。另外，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，例如：生命與物質屬於不同層次，物質是生命的下層（生命由物質組成），但這些物質的交互作用，突現出物質所無的生命特性，因此無法完全用物質的特性來化約解釋生命特性，也就是不能完全用物質主義來看生命（湯偉君、邱美虹，2007）。

除了較多功能性解釋，較少通則性解釋之外，生物科學的各領域中，包括分子生物學、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, Darden, & Craver, 2000; Tabery, 2004)。

¹ 高三選修生物下冊，九十七年十月修訂版，第 213 頁。

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。」在高中、大學的生物教科書中，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。而這是物質科學尤其是物理學所少見的，我們不會說行星自轉的機制，也不會談物體落地的機制。

因此，當我們要說明某一現象時，似乎可用不同類型的解釋來說明，而類型的使用，也可看出學科某種不言而喻的本質。例如待解釋項：「樹上的蘋果為何會落下？」，我們可以「因為萬有引力」的通則性解釋，也可以用機制性解釋：「因為植物分泌了乙烯，導致離層生成，因而支撐蘋果的枝條斷裂，使蘋果落下」，甚至可以用「因為植物為了要散播種子，繁衍後代」這類功能性解釋來說明。也就是說，針對同一現象，當你使用「萬有引力」的通則性解釋，是否有回答物理問題的感覺，而當使用了機制性解釋或是功能性解釋，似乎像是回答生命科學的問題。

如果一個現象可以用不同解釋類型來說明的話，那各類型解釋孰優孰劣呢？Godfrey-Smith (2003) 提出的情境主義 (contextualism) 回答了此類問題，他認為不同的解釋方法不需互相競爭，不一定非要從中取一不可，可依情境不同，採用不同解釋類型。在情境主義的觀點下，一個科學領域裡的適當解釋類型，未必適於另一個科學領域，例如在生物學、心理學運用廣泛的功能性解釋就不適合用在物質科學中。換句話說，判斷某一解釋類型是否為好解釋的標準，會依據不同的科學學科而改變。

參、解釋、科學解釋與科學教育

科學教室內亦如同學術研究的場域嗎？靠此四種解釋就可以幫學生們「洗腦」，順利完成教學工作嗎？這恐怕還要涉及解釋要考慮的另一層面：聽者是否理解，在本節前三部分筆者將申論科學教學中，科學解釋並不如想像般主導著教學現場。第四部分則進而討論科學教科書中的科學解釋，筆者也將提出一個以解釋類型為出發點，對中小學科學教育課綱編寫的建議。

一、科學教學中的解釋

「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現象。因此，筆者認為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」。筆者在 2008 年未發表的著作中，也將三者的關係，表徵成圖 3 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。

筆者認為：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，也就是我們所能找到最合乎科學的解釋，但卻可能沒有多少人能接受，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。

而當以滿足聽眾的需求為最大考量時，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」。

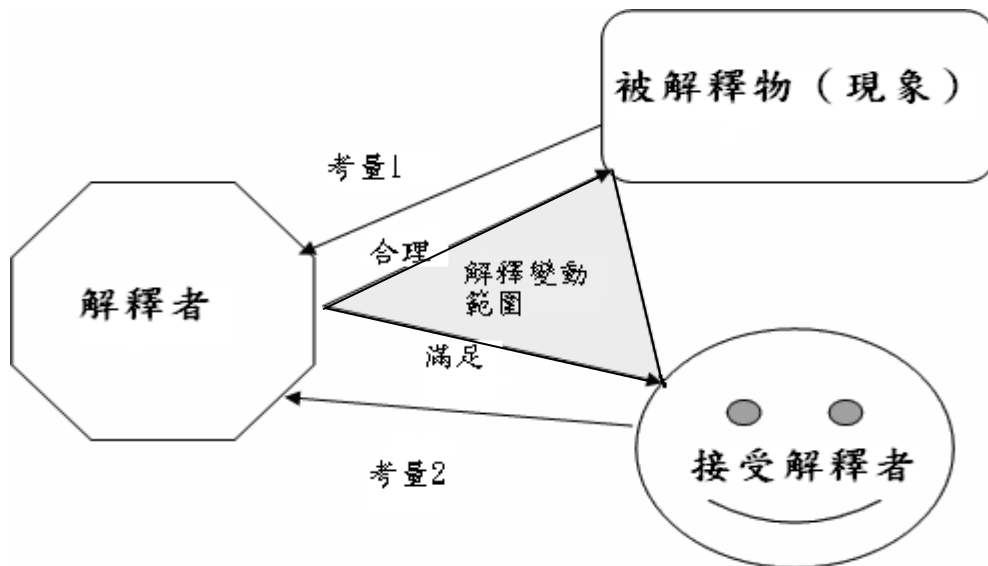


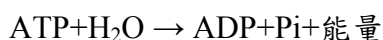
圖 3 解釋者 (E)、被解釋物 (P)、解釋的對象 (A) 三者間的關係

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）。

因此，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)。故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，亦有許多學者都曾討論過在教室可能出現的解釋類型，以下將整理之。

二、研究用解釋與教學用解釋

Horwood (1988) 引用 Bateson (1979) 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 (1988) 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 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，到底什麼樣的解釋才算是好解釋呢？Horwood (1988) 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 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 1 Horwood (1988) 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 (1988) 也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。

三、科學教師所使用的解釋類型

承 Horwood (1988) 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 與 Cossman (1992) 研究教師在課堂上所使用的文字類解釋，將其做出以下分類：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 與 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），這些解釋類型可合計成三大類：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。

不論是 Dagher 與 Cossman (1992) 或 Treagust 與 Harrison (2000)，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 與 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)。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 與 Harrison (2000) 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。

因此，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 與 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（考試與否）、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。

四、科學教科書裡的解釋類型

科教筆者除了觀察教室裡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。

湯偉君 (2008) 則分析國內高、國中教科書內有關演化論的解釋類型，發現教科書內所使用的解釋類型，非常不同於科學教師所使用的，例如：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。

該篇研究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。而教科書編寫方式，以「無解釋」居多，似乎比較著重在「知識的傳授」，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，在此教科書表現出其高度的文本權威。而「科學解釋類型」中，機制性解釋佔的比例最高，通則性解釋的比例低，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 (Darden, 2002; Machamer et al., 2000; Tabery, 2004)，以及生物哲學家對生物學科本質的討論 (Sterelny & Griffiths, 1999)。但除了國漢版之外，各版本功能性解釋的量都很低。湯偉君 (2008) 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。

Tang 與 Chiu (2007) 曾分析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。

筆者認為：Tang 與 Chiu (2007) 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。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。目前筆者並未發現國內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。如果以筆者所提出的四種科學解釋類型做分類，是否可對教科書的編輯方式提供出另一個參考標準呢？例如國小自然科在談光合作用時，明文強調要使用功能性解釋 (光合作用的好處)，而在中學階段則條列出要使用機制性解釋 (光合作用的進行方式)。以目前對美國和臺灣中小學生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。

上述的討論並未針對其他學科教科書內的科學解釋類型進行分析，例如物理、化學。一方面受限於筆者本身之學科專長，無法對這些學科的教科書進行分析；另一方面則是科學教育界對科學解釋的討論並不多，筆者尚未發現有其他國內外的文獻對此有所著墨。因此，筆者頗為好奇其他學科是否也有同樣的科學解釋類型的分佈，希望本文能吸引同好一起進行研究及討論。

肆、結論

藉著簡介「科學解釋」、「解釋」的本質、定義和類型，本文的主要目的在於希望透過解釋類型和本質，提供一個審視科學教育的新角度。本文整理指出，不同類型的科學解釋，可能反應出學科本質；而基於解釋這項行動訴求客體之不同，科學教學現場與科學學術領域間，慣用的解釋類型並不相同，但教科書編輯者卻站在權威的立場，以傳授真理的目標為主，忽略讀者較能理解的解釋類型。不過課程綱要編輯者會因應學生年齡，調整綱要中不同解釋類型的比例。本文更希望能拋磚引玉，引發國內科學教育界對此議題的更深入探討。

參考文獻

- 林正弘（1991）。**伽利略、波柏、科學說明**。臺北市：東大出版社。
- 邱美虹、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。
- 曹志平（2003）。論西方科學解釋理論的困境與出路。**自然辯證法研究**，19（5），
16-20。
- 陳恆安（2005）。教科書外的演化論--臺灣科普的演化論爭議。**科學發展**，394，
78-80。
- 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**，
286，51-55。
- 湯偉君（2008）。**以解釋本質探討中學演化論之教科書內容與教學**。國立臺灣
師範大學科學教育研究所博士論文，未出版，臺北市。
- 湯偉君、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。

- 楊文金 (1998)。「同儕科學家意象」對訊息合理性判斷的影響性分析。師大學報：科學教育類，43 (1)，1-17。
- 楊文金 (2000)。同儕友人關係對六年級學生科學問題組對討論的影響分析。科學教育月刊，8 (2)，123-140。
- 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.
- Audi, R. (Ed.). (1999). *The cambridge dictionary of philosophy* (2 ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bateson, G. (1979). *Mind in nature. A necessary unity*. New York: E.P.Dutton.
- 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, 354-365.
- Dupre, J. (1993). *The disorder of things: Metaphysical foundations of the disunity of science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Godfrey-Smith, P. (2003). *Theory and reality: An introduction to the philosophy of science*. Chicago: The university of Chicago Press.
- Hausman, D. (1982). Causal and explanatory asymmetry. In P. Asquith & T. Nickles (Eds.), *Psa 1982, vol 1*. East Lansing MI: Philosophy of Science Association.
- Hempel, G. G. (1965). *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of science*. New York: The Free Press.
- Horwood, R. H. (1988). Explanation and description in science teaching. *Science education*, 72(1), 41-49.
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science*, 67, 1-25.
- Miller, R. (1987). *Fact and method*. Princeton: Princeton University Press.

- Salmon, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. New Jersey: Princeton University Press.
- Salmon, W. C. (1989). Four decades of scientific explanation. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.), *Scientific explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Salmon, W. C. (1998). *Causality and explanation*. New York: Oxford University Press.
- Scriven, M. (1988). Explanations, predictions, and laws. In J. C. Pitt (Ed.), *Theories of explanation*. New York: Oxford University Press.
- Sterelny, K., & Griffiths, P. E. (1999). *Sex and death: An introduction to philosophy of biology*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Tabery, J. G. (2004). Synthesizing activities and interactions in the concept of a mechanism. *Philosophy of Science*, 71, 1-15.
- Talanquer, V. (2007). Explanation and teleology in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 29(7), 853-870.
- Tang, W. C., & Chiu, M. H. (2007, August). *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.
- 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.
- 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.

- Wimsatt, W. C. (1972). Teleology and the logical structure of function statements. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 3(1), 1-80.
- Wong, D. (1996). Students' scientific explanations and the context in which they occur. *Elementary School Journal*, 96(5), 495-511.

Inspecting Science Teaching: A New Approach from Explanation and Scientific Explanation

Wei-Chun Tang^{1*} Mei-Hung Chiu²

¹ Taipei Municipal Wan-fang High School

² Graduate Institute of Science Education, National Taiwan Normal University

* weiyee@ms16.hinet.net

Abstract

Explanations are used to communicate ideas between teachers and students in class. Among all kinds of explanations, scientific explanation is usually considered as a powerful and authoritative status. Scientific explanation can be subdivided into four kinds. In the article, authors suggest a new approach to inspecting science teaching based on the definitions and kinds of explanation and scientific explanation. The differences among the kinds seem to instantiate the nature of different scientific subject. Furthermore, authors observe that the discrepant kinds of explanation distribute in different stages of biology curriculum standards. However, in spite of its predominance, scientific explanation is not the dominative presentation in actual teaching fields. Also, authors find several differences about explanations between textbooks and actual practice in science class. Authors argue that science education researchers should make conscious of “scientific explanation” and “explanation” can give some significance for science teaching.

Keywords: functional explanation, scientific explanation, explanation

