

# 概念改變研究的省思與啟示

邱美虹

國立台灣師範大學科學教育研究所

(投稿日期：民國 88 年 8 月 20 日，修訂日期：88 年 12 月 30 日，接受日期：民國 89 年 2 月 21 日)

摘要：長久以來有關概念改變的相關研究大都指出，學童在改變原有的科學概念過程中是很困難的，這其中的解釋有許多相似性，如概念本身是抽象的、是複雜的、是與生活經驗不一致的。因而學者嘗試透過不同的策略（如模擬、動手做、模型）以促進學童學習，但對某些特定的科學概念（如電流、熱、擴散、化學平衡）其成效卻尚無定論（Chi, 1997）。是否我們所做的假設——抽象、複雜，並非問題的癥結，以致有些策略無法達成根本的概念改變？若是如此，還有什麼其他會造成科學概念難以學習的可能因素呢？除此之外，有些學者指出兒童科學概念的改變與科學革命有其相似性（如 Carey, 1985；Kuhn, 1970），但亦有學者指出，兒童科學概念的改變並不如科學革命如此劇烈或進行根本的重建（如 Chi, 1997; Nersessian, 1989; Thagard, 1992）。究竟兒童科學概念改變與科學革命的過程有何異同呢？本文主要的目的便是探討概念改變的特質、機制、以及孩童概念改變與科學革命歷程之關係。

關鍵詞：概念改變、本體論、不相容理論。

## 壹、前言

在有關概念改變的文獻中，學者大都指出科學概念學習困難的原因不外有下列幾點：1. 受到個人經驗的影響、2. 概念本身是抽象的、3. 概念本身是複雜的、4. 概念本身是微觀的。因此不同年齡、不同文化的孩童或成人在科學概念的學習上常易持有與科學家不同的另有想法（e.g., Pfundt & Duit, 1991），這些另有想法與科學家對科學現象的解釋不同，但受到上述因素的影響而很難修正。如 McCloskey (1983)

的研究指出，力學概念與學生日常生活的經驗有直接的相關，因此，即使已修過物理的大學生仍持有物體具有衝量的觀點。但另一方面，有些科學概念學生卻較易習得，如 Vosniadou 和 Brewer (1990)對孩童所進行的地球形狀的研究指出，孩童認為地球是平的（或磁碟狀）是不同文化中普遍存在的，但隨年齡的增長持有此觀點者逐漸減少。為何有些概念隨年齡的增長而有所改變，但有些概念卻不易改變呢？究竟概念改變是困難的這樣一個結論是否具有通則性呢？若答案是存疑的，那究竟有何差異？科學學習困難的癥結究竟何在？其對學習的意

涵又是什麼呢？本文擬先回顧概念改變的意涵，再就認知科學家 Chi 所提出概念改變的不相容假說加以討論，並佐以實證研究的結果，爾後再從科學哲學家 Thagard 概念革命的角度來探究概念改變的機制，進而比較孩童概念改變與科學革命之關係，及其在科學教育上的啟示。

## 貳、學習可視為概念改變的過程

### 一、概念改變的意涵

自 1962 年 Thomas Kuhn 發表了「科學革命的結構」一書之後，在許多學科中皆產生了不小的衝擊，而在科學教育中革命性的概念改變也因而受到重視(Thagard, 1992)。

在科學教育中，有關概念改變的理論，較為大家所熟知的是 Posner, Strike, Hewson 和 Gertzog (1982) 所提出的概念改變模式 (conceptual change model, CCM)，這概念改變模式是根據 Kuhn (1962) 和 Lakatos (1970) 認識論的論證所發展的 (Duschl & Gitomer, 1991)。Posner 等人所提出概念改變的四個條件為：1. 學習者必須對現有概念感到不滿意 (dissatisfaction)，亦即人們除非感受到自己的概念不具有功能性，否則是不會改變他們所用以思考的概念。換言之，當同化 (assimilation) 仍然合理時，人們是不會進行調適 (accommodation) 的。2. 新的概念必須是可以理解的 (intelligible)：根據 Strike 和 Posner (1985) 的觀點，新的概念通常不是反直覺 (counter-intuition)，就是不可理解 (incomprehensive)，所以很難形成概念改變，因此新的概念必須是可理解的，個體才可能進行概念改變。3. 新的概念必須是合理的 (plausible)：雖然新的概念未必一定要為真，但它至少必須具有成真的可能性。4. 新的概念必須是豐富的 (fruitful)：它不僅有可能解決現有的問題，而且也應該提供

未來探索的途徑及作為產生思考的工具。符合上述四個條件再透過調適的過程，才能使概念重組以達概念改變的目的。因此，Strike 和 Posner 跟隨 Toulmin (1972) 將這種概念情境稱之為「概念生態」(conceptual ecology) 來說明概念之間複雜的關係。

Roth (1991) 也提出與 Posner 等人類似的觀點，她指出學生必須明瞭他們個人的理論與實驗證據相比是不足夠的 (inadequate)，是不完整的 (incomplete)、或是不一致的 (inconsistent)；反之科學性的解釋可作為一個更具說服力且更合理的取代物，如此概念改變才有可能發生。

以 Rumelhart 和 Norman (1981) 為例，他們認為概念改變有三種型態：增加 (accretion)、調整 (tuning)、重建 (restructuring)。所謂“增加”是在既有的知識模組中以不改變先前的架構而增加新知識。

“ ”，使其執行較為順暢、較為有效和較為自動化。譬如吾人對桌子原有的認知是四隻腳，現看到三隻腳的桌子，便可修正對桌子的概念。這種拓展基模的觀點，屬於“調整”的意涵。前述「增加」或「調整」即所謂的輕微或微弱的概念改變 (weak conceptual change)。第三種概念改變——稱為重建 (restructuring)，也就是知識重組 (re-organization) 的過程，以獲得更深層的理解與頓悟。

Carey (1985) 則認為兒童大都擁有一種所謂“似理論般” (theory-like) 的概念結構，這些概念結構往往受某一特殊領域知識的累積而逐漸產生新的概念，如專家特質的獲得 (acquisition of expertise) 即可視為“輕微的概念改變”；而 Kuhn (1970) 所謂的典範轉移 (paradigm shift) 則屬於“強烈的 (strong)”或“根本的或徹底的概念改變” (radical conceptual change)。

Vosniadou (1994)認為概念改變應從豐富(enrichment)和修正(revision)兩個角度來探討：所謂豐富是指孩童面對所學的與已知的概念架構一致時，則學習並不難發生(如告訴學生月球上沒有水與空氣，所以太空人要帶水與氧上月球)，只是使其知識更加豐富；而所謂修正則是當學童所欲學習的與其原有的架構(frame work)不一致或受限於特定理論(specific theory)時，則概念改變便不易發生(如地球是球體的，而我們是住在地球的表面上)。

另有學者指出概念改變有三個層次(Gentner, Brem, Ferguson, Markman, Levidow, Wolff, & Forbus, 1997)：1. 信念修正(belief revision)——是指所相信的事實之改變；2. 理論改變(theory change)——是指在整體知識結構(global knowledge structure)上的改變；3. 概念改變——是指組成信念結構中基本概念的改變。概念改變至少需要局部的調整(locally nonalignable)或不可共量的信念(incommensurable belief)(Carey, 1985; 引自 Gentner, *et al.* 1997)。

Keil (1999)認為要給概念改變下一個沒有爭議性的操作型定義是很困難的，但是可以從下面五個彼此不互斥的向度來探討概念改變，前四個是從簡單的增加知識到完全重現龐大的認知結構，而第五個則是知識如何被使用的根本的改變，而概念本身並未發生重組或僅有少部份重組而已。這五種概念改變的特質如下(Keil, 1999)：

1. 在許多向度中特質、性質或價值的改變(Features or property changes and value changes on dimensions)：此部份所指為隨著知識的增加，特質的加權和向度的價值轉變。如對浴巾的觀點，年紀較小的可能認為形狀較質地為重，而年紀較大的則反之。這種改變對知識如何在一領域內被表現(或表徵)是沒有太大的影響的。

2. 不同種類的性質和關係間使用的轉變(Shifting use of different sorts of properties and relations)：概念改變的發生是在表徵中有些特質被改變。如嬰幼兒對事情的表徵是從感官的而非認知的、是感官的而非功能的，是具體的而非抽象的特質出發(e.g. Werner & Kaplan, 1963)。
3. 執行計算上特質的改變(Changes in computations performed on features)：概念改變也可能發生在對一固定特質上執行計算時的改變。如從表格和相關資訊所獲得的特質改變到利用相同的特質卻產生似法則(rule like)的組織(Sloman, 1996)、或是如同幼童對某些特質的計算只能使用一些基本運算一般(Keil, 1989)。
4. 理論上的改變(Theoretic changes, where theories spawn others and thereby create new sets of concepts)：通常所指為三種改變：(1) 隨著舊理論的死亡而產生新理論或新概念(Gopmik & Wellman, 1994)。(2) 新理論和概念的逐漸演化，舊有的已不復存在(Wiser & Carey, 1983)。(3) 新理論和所伴隨的概念的誕生，而舊有的仍原封不動(Carey, 1985)。而這三者中的選擇取決於Kuhn (1970, 1982)的不可共量或矛盾的觀點。
5. 重要性的轉變(Shifting relevances)：孩童和成人有新的頓悟未必是因為潛在概念的革命或新的思考的誕生，而是因為他們了解到既有的解釋系統對一組新現象的重要性，透過這種認知，因而產生深層的概念改變。根據Keil的看法，雖然孩童經由成長而擁有許多不同的理論，但他們與成人最大的

差異恐怕是在於他們認為何種理論對他們而言是最重要的(e.g., Gutheil, Vera, & Keil, 1998)。不同年齡的孩童或許並未擁有不同的理論，但不同的是他們如何使用這些理論。這種重要性的改變亦可視為概念改變的一種類型。

綜上所述，要從文獻中對概念改變的觀點提出一個操作型定義誠屬不易，但基本上可知學者們根據知識架構重組的狀態加以區分概念改變的程度，可以從簡單的增加或減少知識內容到整體知識架構的重組(見附件一，其中 Chi 與 Thagard 的論點將於下節討論)，這些皆可提供我們一個思考的方向，但作為一個概念改變的判準似乎仍缺乏具體性，以下將就此部份再加以探討與分析。

## 二、概念改變的理論

根據 Pfundt 和 Duit (1991)回顧近 2000 篇的研究指出，許多迷思概念都很難改變，因為學童或成人的科學概念是個人的(personal)、固執的(persistent)、強韌的(robust)、一致的(consistent)、穩定的(stable)，這些特質阻礙學生科學學習過程中概念的轉變(e.g., Osborne & Freyberg, 1985; Osborne & Wittrock, 1983; Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985)。因此，「概念改變是很難發生的嗎？」這樣一個敘述在科學教育與認知心理學中似乎不應是一個問句，而是一個肯定句。但 Chi (1992, 1998) 和 Chi, Slotta, & de Leeuw (1994) 從本體論的角度來探討概念改變的內涵，並比較學生在領域內與領域間(如物理與生物)概念改變的表現，而提出所謂概念不相容假說(Incompatibility Hypothesis)，明白的挑戰「概念改變是很難發生」這樣的觀點，並率先提出概念改變的難易與概念的本質相關的看法，而使得「概念改變是困難」的觀點，重新引起學界的重視。而 Thagard (1992)也根據科學史的脈絡探討概念改變的機制，並對「兒童概念改變有如科學家

一般」的觀點提出質疑。邱美虹(1998)曾就此討論過，並於研討會中提出相同的問題，以下將針對 Chi 及 Thagard 的論點再進一步的加以探討與分析，從其中或許可拓展我們對概念改變的定義與機制有更進一步的認識與體會。

### (一) Chi 之本體論的概念改變理論

根據 Chi (1992)指出，所謂概念改變應分為本體類別內的概念改變(within ontological conceptual change，或簡稱為概念改變)和跨越本體類別間的概念改變，across ontological conceptual change，或稱為根本的概念改變(radical conceptual change)，她認為概念改變作如此的區別才有助於我們對學習、發展，和科學的發現有所瞭解。Chi 從本體論(ontology)的角度來分析概念結構，她指出所有的實體(entity)可分為三個類別(category)：物質(matter)、過程(process)，和心智狀態(mental state)(Chi, 1992; Chi, Slotta, & de Leeuw, 1994, 見圖 1)。所謂「物質」指的是含有特定屬性(attributes)的「東西」，如紅色的太陽、有生命的東西、固體等；所謂「過程」，指的是事件的發生，可能有序列性、有因果關係、也可能只是機率問題，但它反映出自己特定的屬性；所謂「心智狀態」，則指情意的部份，如情緒或傾向。分類在本體上的不同是基於下階的概念是否來自相同的親代類別。在物質、過程、心智狀態這三個類別之下有所謂的次概念，如自然種類、人造物質、步驟、事件、滿足限制條件的交互作用等。每個樹狀圖內的類別在本質上與另一樹狀圖是不相同的，因為它們有著不同的本體屬性。舉例來說。「活的」或「固體」本質上就與過程自然發生的事件不相同，因此，若概念改變的機制因受到本質上的不同，便應有所區別。基本上，物質、過程、心智狀態在本質上是相互獨立的，因此三者之間的轉換屬於根本的概念改變。以下分就 Chi 類別內和類別間的概念改變加以說明。

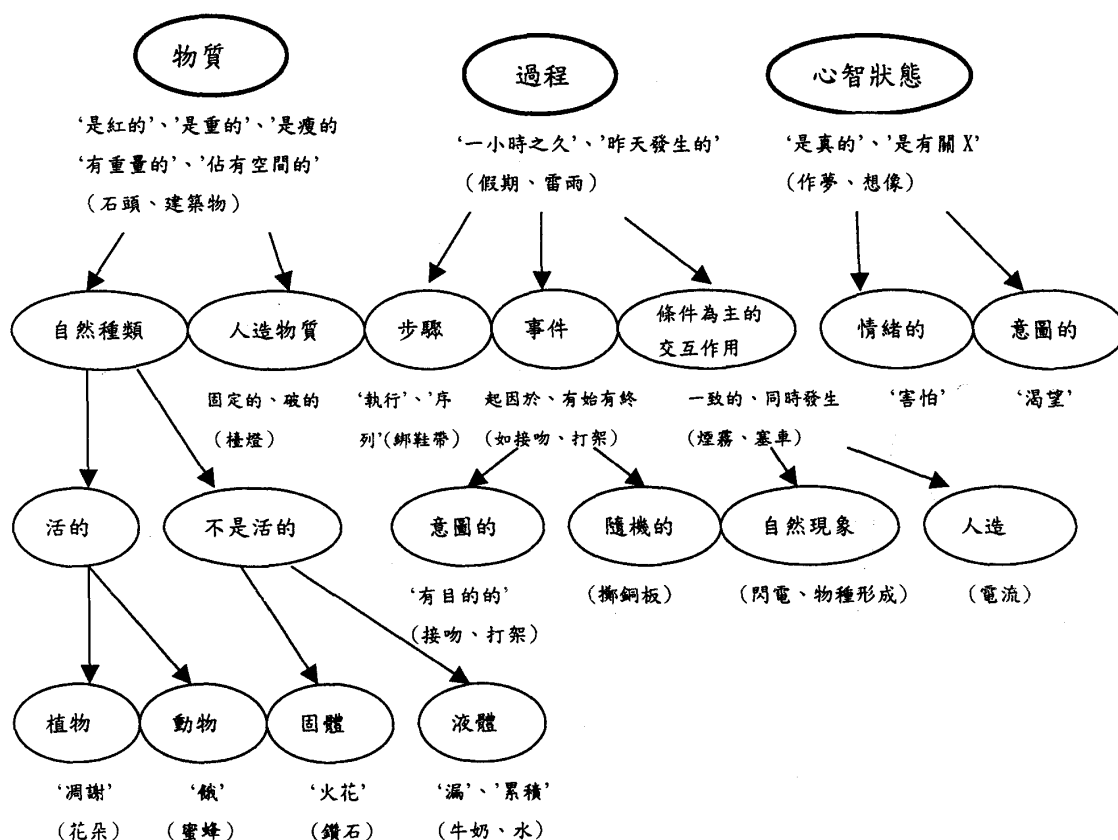


圖 1：本體樹的組織架構 (Chi, 1992; 1994 修正; 引自邱美虹, 1998)

### 類別內的概念改變

所謂類別內的概念改變，是指概念改變的發生是在於同一本體樹內概念上下的轉變，而不是跨越不同的本體樹。換言之，即為同一類別內的概念歸屬改變，這種改變可視為信念的修正 (belief revision)，因這種類別內的概念改變情形大都發生在缺乏知識或缺乏練習所致。舉例來說：“植物”與“動物”能以“物”作為一個新的上階類別合併兩者，但是。又如鯨魚常被誤認為是魚，但經由增加對鯨魚的瞭解，使既有的知識表徵逐漸與哺乳類的特性連結，則鯨魚的分類就不再屬於魚類而是哺乳類；或直接告知學習者鯨魚是哺乳類。這種類別的改變基

本上仍在物質領域中 (within a domain)，只不過是從一個分枝 (branch) 到另一個分枝。就如同 Carey 的研究中指出兒童對人和動物的概念會隨年齡的增加 (約至 10 歲) 會有較為完整的認識，此種形式的概念改變只是概念在分枝架構上調整位置 (上升或下降)，改變的只是在相同的本體樹或是本體類別中。許多知識的獲得過程能夠解釋此種形式的概念重組，如以增加 (addition)、刪除 (deletion)、普遍化 (generalization) 和區分 (discrimination) 屬性的方式來改變概念結構，這些皆僅屬於局部的變化，不需進行本體認知結構上的重大改變。因此，Carey (1985) 稱這些屬於校正部份與整體的關係者為弱重建 (weak restructuring)，而

Keil 則稱之為非根本(nonradical)的概念改變。

### 類別間的概念改變

事實上 Chi 的概念改變架構在 1992 年提出時，是將所有的實體分成物質、事件(event)、心智狀態，而 CBI 是事件下的一個分枝，因此在討論類別間的概念改變實是以物質與事件來進行比較。但隨後 Chi, Slotta, & de Leeuw (1994)修正原有的模式，除將「事件」改為「過程」下的一個分枝並提升「CBI」與「事件」為相同階層的概念外，同時增加步驟(procedure)分枝。其最大的改變便是區別「過程」概念中的「事件」特性與「CBI」的特性是不相同，如此才能區別科學概念中不同的本體特性以解釋概念學習的難處所在。

所有的概念都有它所歸屬的類別，概念改變就是個人改變概念所歸屬的本體論類別。根據 Chi 的理論，科學概念從一本體樹遷徙(migrate)到另一個本體樹，這種類別間的轉移才能稱為根本的概念改變，否則若僅是本體樹中的改變，充其量僅是一般信念的修正罷了，還不足以視為根本的概念改變。以物理為例，許多物理學上的概念（如力、電學、熱和溫度）較難產生概念改變（如 Chi 等人，1989），便是因為原有的概念是屬於「物質」類別，但科學家對這些概念的界定卻是屬於「過程」的類別，因此學習者必須跨越本體類別才能獲得正確的科學知識，這種過程在學習上是較為困難的。以圖 1 為例，某些概念在生手的觀點中是屬於「物質」的本體類別，如生手對電大都持有『會儲存在電池中』或「有重量、有體積」靜態的物質類別中（如圖 1 左下角），而忽略這些概念事實上牽涉到粒子的交互作用，它們應屬於「過程」的本體類別。因此，Chi 藉 T. Kuhn 的觀點稱不同類別樹間的概念具有所謂不可共量性。根據 Chi (in press) 的不相容理論(Incompatibility)的觀點指出，學生無法瞭解科

學概念並非因為這些概念是複雜的、抽象的、或是動態的，而是學生原有的素樸想法屬於「事件」（如前節所述，見圖 1），而「事件」基模與待學的基模彼此具有不相容性。這不相容性發生在不同基模中：如物質相對於過程(Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994)、靜態(static)相較於動態(dynamic)、人造的(artifacts)相較於自然種類(natural kind, Gelman, 1988；引自 Chi, in press)等。正因為這種不相容性，因此個人要放棄原有的觀點或進行同化，是一項相當困難的工作。

Chi (1992)指出，事實上科學革命的機制並非都是基於本體概念間的轉移(ontological conceptual shift)，亦即並非皆是屬於根本的概念改變。譬如在生物方面，雖然哈維(Harvey)的血液循環系統在中世紀是一重大的突破，然而這樣的發現是不需要根本的概念改變。相較於伽利略(Galileo)在物理上的工作，則需有根本的概念改變。這樣的觀點是可就以下四個判準來加以說明：1.學生在循環系統的迷思概念並不具有一致性；2.隨著年齡的不同，只有極微小的一致性；3.在不同的學校教育下僅有些微的一致性（通常隨著發展的累積，學生能夠逐漸瞭解循環系統。）；4.學生的素樸概念和中世紀的迷思概念之間似乎沒有相似性。如學生對人類循環系統的不瞭解和困惑，與歷史上阻止科學的發現是沒有關係的(Chi, 1992)。因此，Chi 指出，跨越本體類別的概念改變大都出現在特殊的物理科學概念（如電學、熱），而在其他學科方面（如血液循環系統或對動物的迷思概念）則未必需要本體類別上的轉移。

### 實證研究的結果

從有關學生的學習研究中觀之，Chi, deLeeuw, Chiu 和 Lavancher (1994)指出，學生對於心肺循環的學習並不與物理的相關研究（如力學、電學）所得的結論一致，那就是概念的

轉變是很難發生的。譬如許多學生認為血液有兩種顏色：藍色與紅色（或許受到大部份教科書呈現方式的影響—隱藏了傳遞迷思概念的訊息），但這樣的觀念因不似物理涉及個人經驗，因此在經由教學後，學生較易產生概念上的改變。在同一研究中指出，二十四位參加實驗的學生在實驗前有五位學生對心肺循環不具有迴路(loop)的概念，十六位學生(66.67%)認為是單循環，而僅有一位學生有雙循環(4%)的概念。但在實驗後，經檢驗學生心智模式發現，僅有三位同學仍擁有單循環的概念，70.83%（十七位）的學生轉移為雙循環模式。因此，心肺循環的概念改變屬於類別內的改變，較易發生在學習過程中。

然而，有些概念則與上述情形相左。為了進一步確認 Chi 的理論預測正確，他們分別在後續的研究中以實證研究來檢驗該理論(Slotta, Chi, & Joram, 1995; Slotta 和 Chi, 1996)。在 Chi 的相關研究中(Chi, 1992; Chi 等人, 1994)指出，在過程類別中有兩個較為重要的觀念：一般事件(event)與限制條件為主(constraint-based interaction, CBI)的交互作用，或平衡過程概念(equilibration process, EP, Chi, 1998)。前者包含起始點與終點、明確的行動（如打棒球）等；而所謂 EP 則無一般事件所具有的特質，它無起始點也無終點是一不斷進行的活動（如擴散），因此雖然都屬於過程的類別，但特質全然不同。大部份較難學習的科學概念就屬於後者，生手通常將其視為一般事件，所以才有所謂概念難以改變的說法。但當專家處理與生手相同的概念問題時（光、熱、電）時，他們對問題的解釋與過程本體是一致的，而並非如生手一般歸類為物質的(Slotta, Chi, 和 Joram, 1995)。根據 Chi (1997, p.226) 的觀點，CBI 或 EP 概念之所以難學有以下四點原因：

1. 這些概念在學習之初被視為物質或是因果關係，而事實上應屬於 EP 過程。

2. 學生並不熟悉 EP 過程，因為 CBI 的過程特質與學生日常生活所碰到且熟悉的事件不同。
3. 學生在兩層次間概念的轉換在彈性上有其限制。
4. 學生並不認為本體類別的改變對學習 EP 概念有其必要性。

舉例來說，擴散現象(diffusion)所指的是分子濃度隨時間而改變是因為它是許多分子隨機運動的函數，這過程並不包含所謂事件的六個特質(Chi, 1997, 見表 1)。但學生學習「擴散」困難在於 1. 學生視「擴散」為因果關係（如有限的空間所以要擴散）；2. 學生認為這過程是有目的的(intentional)（如分子要想從濃的地方到淡的地方）；3. 學生認為它是序列關係（從高濃度到低濃度）；4. 學生認為它有明顯的行動（如紅藍墨水混和，紅墨水往一個方向進行而藍墨水往另一個方向進行）；5. 學生認為過程是有界線的(bounded)，也就是有起點（混合時將錐形瓶中隔開兩液體的障礙除開）與終點（即兩液體混合呈紫色液體）最後就是終止擴散過程，藍紅液體在感官上沒有運動。事實上，這些都屬於事件的特質，而非滿足限制概念的特質。因為：

1. 它不具有明顯的行動(distinct actions)，它是一致的(uniform)。
2. 它不具有起點(beginning)與終點(end)，它是不斷進行的(ongoing)。
3. 它不是序列的(sequential)，而是同時發生的(simultaneous)。
4. 它不是因果關係的(causal)，而是隨機(random)、許多獨立事件(multiple independent subevents)共同產生的結果。如擴散並非由一特定的分子撞擊另一分子而產生運動，任何一個分子撞擊另一個分子一定要在有其他分子存在的情境下才能產生意義。

5. 它不是目的導向(goal-directed)，而是淨效應(net effect)。如擴散是許多獨立、同時、一致的現象。紅藍液體混合時，分子因隨機運動會進入另一種液體中，經過一段時間後兩液體中的有色分子會達到一個平衡。它並不是要達到一個特定的目的，而僅是分子不斷運動所產生一個機率性的結果。
6. 它不是終止的(terminate)，而是連續不斷的(continuous)。在感官上或許已不再有任何運動產生，但在分子層次上分子還在不斷的運動。以拔河來類比是再適當也不過了。

Slotta 和 Chi (1996) 設計一實驗組學生接受所謂「限制條件為主的教學」訓練來認識氣體的特性，而控制組則無，然後再學習電流。研究結果指出，雖然兩組學生在前測時大都以物質特性來解釋電流現象，但在後測中實驗組有明顯的進步（實驗組：29%；控制組：8%），且實驗組較常使用過程述詞(process predication)而較少使用物質述詞(substance predication)來解釋電流(transfer)的現象。同時，高成就學生的概念改變較低成就者更加明顯。雖然控制組接受與實驗組相同的教材，但仍無法從先前的迷思概念中明顯的改變其原有的想法。類似的研究結果也出現在 Fararri 和 Chi (1998) 的研究中，他們發現學生對天擇的概念大都以因果關係的事件方式來解釋，而非以隨機發生的「限制條件為主」的過程屬性來詮釋。Chiu 和 Chi (in preparation) 對二十二名國二(八年級)學生進行符合 EP 屬性之「擴散」概念的研究發現，實驗組學生較控制組學生在後測的表現上為佳，但經分析概念特質後發現，雖然有少數學生說明在平衡狀態下，分子仍不斷在運動以維持平衡，但兩組學生都傾向以事件屬性中的「目的導向」以及「終止」的特質來解釋「擴散現象」，亦即由濃度高的向濃度低的地方移動，且當平

表 1：事件概念與滿足限制條件的概念所具有的特質  
(修改自 Chi, 1997)

事件概念	滿足限制條件的概念
1. 明顯的行動(distinct actions)	1. 一致的(uniform)
2. (i)有界線的(bounded) (含起點與終點)	2. (i)無界線的(bounded) (ii)持續不斷的(continuous)
(ii)終止的(terminate)	
3. 序列的(sequential)	3. 同時發生的(simultaneous)
4. 因果關係的(causal)	4. 隨機(random)
5. 目的導向(goal-directed)	5. 淨效應(net effect)

衡達到時，移動即告結束。相當低比例的學生以 EP 的觀點來解釋擴散現象。這些結果都支持 Chi 所謂概念不可相容的觀點會影響概念的改變。

因此，學生經由「物質」的類別轉移到「過程」的類別，需要在概念體系中發生徹底的轉變，這樣的轉變與前述的鯨魚一例—改變概念的特質只是逐步改變的方式是截然不同的。也正因為如此，這種在對「物質的本質及行為的認識」和心理認知層面的無法對應，是造成概念改變困難之原因。換言之，學生較常使用「性質和行為」來解釋一些物理現象，但對於物理實體而言，它們的本質和它們在心理上如何被知覺到，這之間是不相同的 (Chi, 1998)。

### 小 結

根據上述討論，類別內與類別間概念改變的關係可以 Chi (1992) 的闡釋圖 (見圖 2) 加以說明。以圖 2 為例，在一個「樹狀圖」內的概念改變 (如 a、b)，其概念本身並不改變它們原來的基本意義，所以在圖 2 的 (a) 和 (b) 中節點的形狀不變，所改變的是在樹狀脈絡中節點的位置，因此只是概念遷徙罷了。如此的轉變的原因可因 (1) 概念的屬性增加，或因 (2) 特定屬性變得更加明顯所致，因此這種



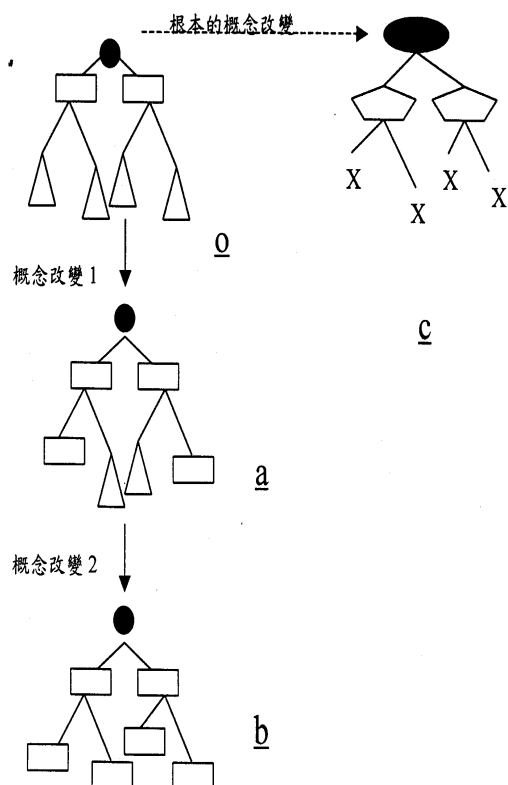


圖 2：根本與非根本概念改變的圖示法  
(Chi, 1992)

註：O 代表原來的概念(original concept)，C 代表根本的概念改變後的概念，a、b 代表樹狀圖內概念移動或取代

概念改變只是樹狀的重組和重建。對根本的概念改變而言，雖然他們在兩樹狀中，可能在表面上有對應性，但兩樹之間的節點本身已改變了意義（以不同的形狀來表示之，如圖 2 O 的 和 變成圖 2 C 的 和 X），兩樹間的節點實無同構對應關係存在（isomorphic mapping）。所以，根本概念的改變是概念原來所歸屬的類別轉移至另一個類別的改變。如概念原本屬於原始樹狀中（見圖 2 O），經根本概念改變後，則屬於另一個樹狀（見圖 2 C），此即為所謂的概念不相容性。因此 Chi 認為

徹底的概念改變意指概念由原來所歸屬的類別轉變到另一新的類別改變的結果。然而 Chi 的觀點更重要的是要說明概念改變，並非以一種漸進的方式從一棵樹到另一棵樹；相反的，這種概念是獨立發展的(developed independently)，所以事實上並無所謂的轉變發生。而是新知識的獲得，而原有概念仍或多或少 intact (P.134)。有關此部份作者認為概念是否獨立發展仍值得進一步探究，因若是獨立發展，則原有的並無法被取代，那形成的仍是概念共有的現象，而非所謂根本的概念改變。

因此，根本的概念改變是一個概念從原先的指定類別轉移另一個新的指定這種改變的結果，其機制和結果與類別內的不同。故 Chi 指出類別間的概念改變的過程是概念在兩不相容的樹中逐漸( gradually )發展，但發展的結果可能是突然的( abruptly )。

從上述的討論可以得到以下兩個論點：1. 本體類別內的概念改變與本體類別間的概念改變過程是不相同的。不同的概念改變過程是必須的，它可包括類別內和類別間。而本體類別內的概念改變是不適用於本體類別間的概念改變，且不宜認為本體類別間的概念改變是完全改變。較適合的想法應是根本的概念改變是新知識的獲得或發展，而原有的概念可能還保留著而原封不動。2. 科學概念並非「皆」是強韌、不易改變的。若概念的改變僅牽涉類別內的轉變，則概念改變是容易的且較常發生，在科學上有些是事實的概念就屬此種，如心肺循環、原子的結構等；若概念的改變牽涉到類別間的轉變（如力學、電學），則概念改變是較少發生且不易發生的（如化學平衡、擴散等概念）。在某些的科學學習領域中（如物理）需要跨越本體類別的概念改變，這正是學習困難的原因。換句話說，當既有的知識與待學的知識是相容的，它們有共享的屬性，概念改變便

較容易發生；當既有的知識與待學的知識是不相容的，也就是彼此無可共享的屬性，則概念改變便不易發生(Chi 等人, 1994)。Chi 的論點或可澄清一些有關概念改變研究不一致的結果。此外，雖然 Chi 在 1992 年提出類別內與類別間概念改變的機制不同來說明概念改變的難易，但 Chi 隨後又提出在過程的部分由事件到 CBI 亦是困難的 (Chi, Slotta, & Jorcun, 1994)，這一觀點進一步去說明在過程的本體樹中仍有不可相容的本體樹(如圖 1 中的事件本體樹與 CBI 本體樹)，概念若分屬這兩本體樹亦會造成不易改變概念的情形。因此，本文作者認為單以學科來畫分概念改變並非最佳的方式，而應以概念本質來說明較為適當，如各學科中名詞的界定（如化合物的概念）就較易學習，但若是屬於具有動態屬性的交互作用關係的概念則不易學習（如化學平衡，見邱美虹、劉嘉茹、周金城、和梁家祺，1999; Chiu, Chou, Liu 和 Chang, 2000）。同理，是否所有的物理

概念就都屬於過程概念，而所有生物概念又都屬於物質概念呢？若不是，那哪些是屬於過程概念的呢？而哪些則是屬於物質概念的呢？因此，在進行概念研究時，檢視概念屬性與本質是有其必要性的。

## (二) Thagard 概念革命的觀點

作者在文獻中發現與 Chi 提出類似觀點的 Thagard (1992)則是從樹轉換(tree switching)和分枝跳躍(branch jumping)的觀點探討概念改變的機制。Thagard 認為概念改變涉及實質上概念系統的改變—即種類關係(kind-relations)與部份關係(part-relations)的改變。所謂「種類」即為階層中較上位的概念（如鯨魚屬於哺乳類），而「部份」即為階層中較下位的概念（如鯨魚有魚翅、骨頭、噴水孔）。概念改變便是「種類」關係與「部份」關係的改變。Thagard (1992)指出概念改變的階層可分為九種（見表 2 及說明，邱美虹，1998）：

表 2：Thagard 概念改變的階層

階 層	特 質	範 例
1. 增加新例子	瑣碎的	如遠處的小斑點是鯨魚
2. 增加弱原則	強弱視其實用性	如鯨魚可在北冰洋發現
3. 增加強原則	強弱視其實用性 (實用性指解題和解釋)	如鯨魚吃沙丁魚
4. 增加新的部份關係(part relations)	分解	如鯨魚有脾臟
5. 增加新的種類關係 (kind relations)	利用上階關係來結合兩個概念	如海豚是鯨魚的一種
6. 增加新概念	有助於科學知識的發展	如電學與磁學合成電磁學
7. 瓦解部份種類的階層	放棄原有的辨別方式	如牛頓放棄亞里斯多德的觀點
8. 藉由分枝跳躍(branch jumping)重組 階層性	從一階層樹的分枝轉移到另一分枝	如哥白尼認為地球應是行星之一而非自成一類的觀點（日心說）
9. 樹的轉變(tree switching)	改變已具有階層性的樹狀組織原理	如達爾文改變分類的意義

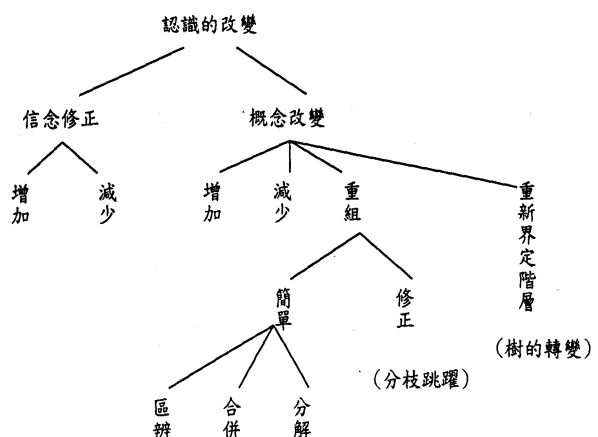
註：雖然表中都以「增加」屬性來說明各階層的特質，但也適用於「減少」的特質。

表中顯示，第一種類別是改變「鯨魚」的概念結構，基本上是瑣碎的。而第二、三種的改變是增加原則的強度(strength)，所謂強弱指的是解決問題和解釋時原則的重要性。所以第二種與第三種的區別在於實用性上（例如對愛斯基摩人而言或許第二種較為重要）。第四種稱為分解(decomposition)，通常發生在新的部份關係被發現因而改變概念的階層性，尤其是先前被認為不可再分的整體，而後卻因新的發現而再分割（如原子）。第五種是指合併(coalescence)和區辨(differentiation)。前者是利用上階(superordinate)的關係將原來分屬兩種不同的概念結合起來（如 Carey 發現兒童以「活的」概念來連結「動物」和「植物」），後者則是區別不同的科學概念（如熱與溫度）。第六種則是為了解釋理論而產生的新概念（如氧氣、電子、基因）。這種概念的改變在科學知識的發展中常見。第七種與前述第五種區辨是相反的，概念改變也可以是瓦解或放棄先前的概念。就如同達爾文打破了「物種」與「變異」的區別，以及牛頓完全放棄亞里斯多德的觀點一般。第八、九種牽涉到種類關係的變動是在概念改變中很重要的步驟。第八種是包括將一個概念從一個樹狀圖的分支移到另一個分支上，如哥白尼的理論就必須將地球重新分類為行星中的一個，而非自成一類的星球；或是達爾文重新將人類視為一種動物，而非是一種被創造物。第九類是影響整體概念樹階層性組織關係的原則中最重要部份。如達爾文不僅將人類重新分類，同時也改變分類的意義。愛因斯坦也因提出「空間-時間」的相對論觀念而改變一般對空間與時間的想法。

若吾人只考慮信念的改變(表2 前三種)，那後五種（第四到第九種）牽涉概念階層的變動勢必會被忽略。但從前面的討論我們知道，科學知識的發展絕非前三種所能處理或解釋的。尤其是其中第八與第九種的科學概念改變

更是戲劇化，它無法經由簡單的加成、減少、瑣碎的改變而發生，它的概念系統的取代是較為整體(holistic)的、革命性的，也因此才能解釋科學發現的過程。

Thagard(1992)以一個知識改變(epistemic change)的方法論架構來看概念改變(見圖3)。Thagard 認為信念的修正包含增加(addition)或刪減(deletion)信念，而概念改變則遠超過這些基本的特質，它包含增加、刪減、重組概念、或重新定義階層的本質(the nature of hierarchy)。其中，簡單的概念重組包含既有關係的延伸，它與分枝跳躍的修正不同，分枝跳躍包含在階層中移動概念和拒絕舊種類或部份關係，同時也進行增加新的關係。他同時指出信念的修正、增加概念、簡單重組概念階層在科學知識的發展中常見，但分枝跳躍與樹轉變在概念革命(conceptual revolution)中則較罕見。根據 Thagard (1992)概念改變的理論，分枝跳躍較簡單的增加一些新的類別相關或部份相關的概念要為戲劇化，因為它必須揚棄先前的關係。而更罕見的樹轉變的發生，則是做類別階層性或部份階層性根本的改變。Thagard 認為大部份的科學革命皆包括概念的增加或刪除，有些是在原有種類關係或部份關係中重新組織，做有如樹枝般的跳躍。Thagard 進一步指出，雖然一般學習並非僅是簡單的增加新的信念，但也未必是系統性的、革命性的、概念性的科學革命一般，此觀點與 Chi (1992)頗為一



致。

圖 3：知識改變(epistemic change)分類的方法論



圖 4：托勒密的概念體系

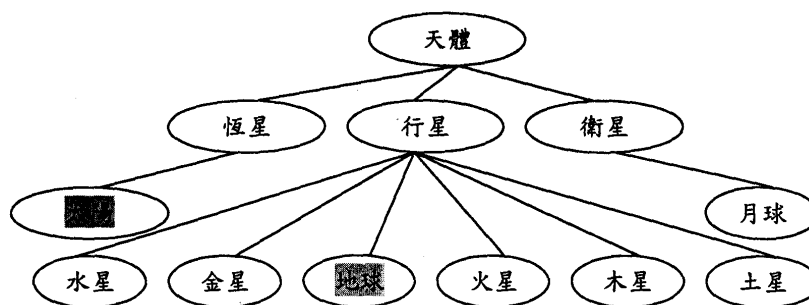


圖 5：近代天文學的概念體

### 科學史上的實例說明

根據 Thagard (1992) 對托勒密和哥白尼科學革命的分析指出 (見圖 4)，在托勒密的觀點中地球屬於一個分枝與其他星球不同，而太陽只是眾多行星中的一個。但到哥白尼時改以日心說為主，將地球與太陽重新歸類，太陽屬於恆星的一種，而地球才是眾多行星中的一個星球，此外還有一種所謂的衛星，月球即屬此種衛星類別，這個天文學的概念體系進而成為近代天文學的主要架構 (見圖 5)。比較圖四與圖五可知，由托勒密到哥白尼是概念類別內的轉換，此例說明科學史上的概念革命有些並非做劇烈的根本概念體系的轉換。Thagard 認為這種概念上的革命屬於其理論中的「分枝

跳躍」，而非「樹的轉變」，此觀點與 Chi 之類別內的概念改變相似。

再就達爾文的演化論來說，Thagard (1992) 認為達爾文的理論同時擁有「分枝跳躍」(見圖 6) 和「樹的轉變」。首先，就分枝跳躍而言，在創造論者的概念架構中「人類」是一種特殊的物種，在心智和道德規範上是有別於其他動物的，所以「人類」必須在概念階層上屬於獨立的階層。但是達爾文則認為人類由其他生命種類而來，非上帝所創，所以也該被分類，從演化理論來看，人與猿同類，所以重新分類後，人由先前概念階層中的獨立階層轉變到原有分類的一小分類群中，是故視為分枝跳躍。

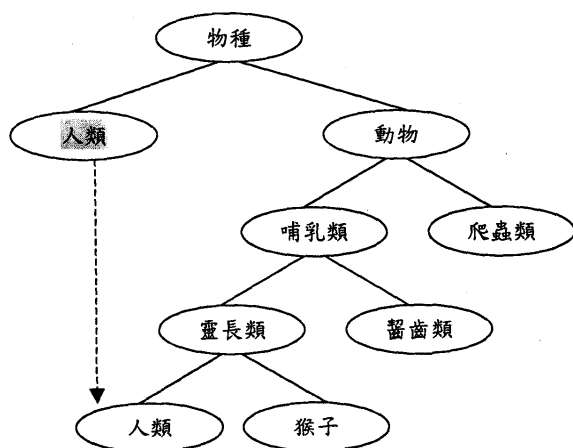


圖 6：達爾文演化論中分枝的跳躍

註：實線代表種類關係，虛線代表人類在種類階層中的移動

其次，在達爾文之前生物的分類是非歷史性的，而是使用種類的一般概念（即有相似特質者歸一類）來進行分類的，因此是一種靜態、非時間性的分類系統。但達爾文倡議的同源理論（descent）提出了分類的新方法：即所謂「在自然史中一群體下，次群體隸屬的偉大事實」，亦即後代與親代的相似是生物體相似的唯一已知原因。因此天擇的演化論決定「何種相似性較為重要」的判斷基準（如在重要器官的相似性可以比外表的相似性更能指出同源的關係），所以達爾文指稱「我們所做的分類法將成為是譜系（genealogies）。」（Darwin 1964, p.486, 引自 Thagard, 1992）。因此分類應是根據天擇演化的過程這種種類階層基本性質的轉變便稱為「樹的轉變」，因為這些階層樹的根本特性（very nature）已改變了。

### 小 結

基本上 Thagard (1992) 從九個階層來探討概念改變的類別，在不同的階層中其知識架構改變的程度亦不相同，這與先前討論有關概念

改變的定義有不謀而合之處（如弱或強的概念改變、信念的修正等）。由於程度的不同，因此發生的機率亦不相同，簡單的概念改變易形成，而牽涉整體架構的重組，便較難發生。那科學的發現，彷彿應是戲劇化的、困難的，但 Thagard 的研究分析結果對此看法則是有所保留。

除上述天文的概念革命及達爾文理論的轉變外，Thagard (1992) 還比較科學史上其他重大的科學革命中概念改變的類型（見表 3），以拉瓦錫發現氧為例，它是屬於拋棄了長久以來以燃素解釋燃燒現象的觀點，而改以氧化論來取代當時所盛行的燃素論，因此並未出現「樹的轉變」類型的概念改變，而僅屬於分枝的跳躍。從表中可知科學史上的概念革命並非皆屬「樹的轉變」，即所謂的根本概念革命；反之，僅是改變概念類別歸屬的分枝跳躍亦有屬於分枝跳躍。只有極少數的概念革命屬於整體概念樹的重組。

### （三）比較 Chi 和 Thagard 對概念改變觀點之異同：

綜上所述，Chi (1992, 1997) 與 Thagard (1992) 皆從概念架構探討概念改變的機制，他們在對於概念的增加或減少僅屬於信念的修正或分枝的跳躍未涉及根本結構上的轉移有一致的看法。而 Chi 的類別內的概念改變與 Thagard 的分枝跳躍亦有相似之處，此觀點是以概念的改變是在相同的本體類別中進行概念層次的上升或下降。對於科學革命並非全基於本體類別間的轉移，這一點上，兩人亦有著相類似的見解（如哈維的心肺循環說和哥白尼的日心說）。也就是說，兩人皆一致認為「並非」所有的科學概念或是所有的科學革命均是基於本體概念的轉移（ontological conceptual shift），且它們和素樸概念及中世紀的概念是相似的說法。但 Chi 與 Thagard 的理論仍有相異之處，作者歸納為下列五點，扼要說明如下：

表 3：概念改變的類型 (Thagard, 1992)

革命名稱	概念增加	概念刪除	分枝跳躍	樹的轉變
1. 拉瓦錫	氧氣 (oxygen)	燃素 (phlogiston)	納入金屬氧化物的概念 黃金為元素的一種	
2. 達爾文	天擇 (natural selection)	上帝創造的 (divine creation)	人類也是動物的一種	種類：歷史性的
3. 地質學	板塊 (plate)	地球收縮論 (shrinking earth)		大陸飄移和海底擴張
4. 哥白尼			地球也是行星	
5. 牛頓	重力理論 (force of gravity)	渦旋(vortex)	運動也是一種狀態	
6. 愛因斯坦	相對論的質量 (relativistic mass)	以太 (aether)	質能守恆	空間—時間概念

1. Thagard 的概念改變分為九種類型，鉅細靡遺的描述概念改變從局部的增加或減少概念到理論的轉變；而 Chi 則以一個較完整的理論架構來包容概念改變可能發生的類型，並進而解釋概念改變原因。前者較傾向現象的描述，後者較傾向過程與結果的解釋。
2. Thagard 的論點其出發點主要是希望能透過人工智慧的方式來推論各科學理論與其證據之間在解釋上的連貫性 (coherence)，因此對於概念的階層性 (hierarchy) 較為重視。但 Chi 的出發點則以概念的本質與認知為主要的研究課題，強調概念的分類特質，這是與 Thagard 不同之處。
3. Thagard 所指的分枝跳躍在 Chi 的理論中是屬於領域內的概念改變，因此並不難發生，此觀點兩人並不一致。此外，Thagard 所謂樹的轉變仍是在同一本體樹中，故只屬於一般概念改變，而非 Chi 所著重於完全不同類別的轉換的根本概念改變。
4. 承上，Thagard 理論中所謂的樹轉變表面上似乎與 Chi 的理論中類別間的概

念改變相似，但由於他對所提出樹的轉變的解釋與說明不夠明確，故在判準上較亦產生模糊地帶。反之，Chi 的理論在分析類別間的概念改變時有較為明確的脈絡可循，甚至其包容力更大。以達爾文為例，Thagard 認為從創造論到天擇說其分類方式是一種種類屬性的改變，故屬於根本的概念改變。與其如是說，不如從 Chi 的觀點能更明白的解釋這種根本概念改變的機制，那就是從「物質」的概念本體樹（創造論）轉換到「過程」的概念本體樹（演化論），這兩本體樹枝間是相互獨立的。再加上當時宗教的影響（Chi 的「心智狀態」本體樹），以致概念的改變並不容易發生。因此，Chi 所提出的模式較為完整。

5. Thagard 的觀點與分析是來自於對科學革命中概念的轉變加以詮釋，這些結果是無法直接說明學童科學學習的困難之處，或對教學提出具體解決之道。相較於 Chi 的研究，她的理論首度揭開概念改變過程的面紗，具體說明概念本質決定概念改變難易的程度。除

就概念改變提出一個可供研究學習機制參考的理論架構，同時提出實證的結果，對科學教育有具體的意義與價值。

## 參、兒童概念改變與科學史的概念轉變相同嗎？

根據前文指出，學生在學習科學概念時，受到概念類別的屬性不同，在概念改變上有程度的不同 (Chi, 1997; Chi 等人, 1994, Chi, 1997)，而 Thagard (1992) 也指出，在科學史上概念革命亦呈現類似的情形，那是否兒童的概念改變與科學家的概念革命有相似之處呢？這個問題作者曾在 1998 年科教年會論文口頭報告中提出，現就此問題再作進一步的探討。

### 一、兒童的概念改變

長久以來發展心理學一直受到皮亞傑理論的影響，認為兒童認知發展普遍是歷經前運思期、具體操作期再至形式運思期，但愈來愈多的發展心理學家並不同意這樣的說法而改以概念改變與理論更替(theory replacement)來描述孩童科學知識的成長(Thagard, 1992)。有關兒童的概念改變許多學者皆提出不同的看法，如 Carey (1985)從兒童對生物學的觀點來分析；Chi 和其同僚(1988, 1992, 1994)則從學生在生物與物理概念的改變來進行比較；McCloskey (1983) 和 diSessa (1993)則從運動(motion)的觀點切入兒童概念與科學家概念之關係；Vosniadou 和 Brewer (1989, 1990, 1991, 1994)則從天文的課題論起；而 Thagard (1992)則以對上述部份學者的評析提出個人對兒童概念改變的觀點。以下將針對上述各觀點再加以闡述與分析。

Carey ( 1985a ) 在她所著「Conceptual Change in Childhood」一書中指出，孩童在十

歲以前對於動物、人、活的東西與成人所持有的概念迥然不同，但隨著對物質組成與功能的相關知識的累積後，到了十歲左右便能與成人一般視動物為生物的一種、動物與植物都是活的東西、或根據功能而視人是哺乳類的一種。而在 4-10 歲之間的兒童，生物知識的發展是一種理論的取代，他們拒絕了泛靈論取而代之的是自己對生物的認識。Carey (1985a, 引自 Thagard, 1992) 提出概念改變“典範個案”(paradigm cases)，是具有合併、區辨、取代等本體論的認同，就有如從亞里斯多德到伽利略的科學變遷一般。因此，兒童概念改變的歷程（如兒童生物知識的獲得）類似於 Kuhn 所提出科學革命激進的概念改變類型或類似於科學知識的發現歷程。但 Thagard (1992)認為在 Carey 的研究中並未顯示孩童生物概念的知識獲得與概念重組 (conceptual reorganization) 有放棄許多原有的信念，至少在研究結果的呈現上它並未提供足夠的證據說明徹底的概念改變曾發生在孩童的生物學習上。Thagard (1992, P.254)進一步指出，Carey (1985)對於兒童概念的觀點（如活的、沒有生命的）基本上只能算是知識部分關係的增加，兒童根本未經歷與化學革命所謂分枝的跳躍。若與科學革命相較，Carey 的概念改變只是溫和的過程，未必需要放棄原有的概念。

Chi (1988,引自 Thagard, 1992) 假設兒童對生物的概念發展是一種累積性的過程 (incremental process)，兒童逐漸減少以『活』的觀念來聯結生物的概念，而逐漸增加以『生物的功能』來聯結生物的概念（在 Carey 的研究中要到十歲才會發生），這種概念的增加與聯結需克服不同階段時期的學習所強調的概念，但這是對先前的觀念聯結而「不」是真正的放棄先前的觀念。Chi (1992) 的研究也指出，學生在學習新的物理理論時，實際上並未發生放棄原有的想法，即使新理論與日常生活

的知識有著非常不同的概念結構。她認為物理學習的概念轉變需要跨越分辨本體類別的能力，例如物質與過程。這樣的過程對於一般初學物理的學生而言，易將力、光、熱與電流視為物質，而事實上它們則屬於過程的概念，對於物理系的學生而言則必需學習再概念化。因此，一般的學生與物理系的學生學習物理概念是屬於不同的本體類別。為瞭解此種現象是否具有普適性(*generalizability*)，Chi 選擇另一個領域（生物）中與偉大的力學可相匹配的“心肺雙循環”理論來檢驗。根據 Chi 等人（1994）對八年級學生所做心肺循環的實驗發現，學生在某些生物概念上的學習並不如想像中的困難，因這些生物的概念與物理不同，並未深及個人的經驗（如血液循環），因此概念改變並不難發生。針對 Chi 本體論的觀點，Vosniadou（1994）同意學生在概念的本體上會因不同類別的分類錯誤致使迷思概念的產生。儘管如此，但她仍有幾點疑問。首先，Vosniadou 認為概念改變的解釋若是將概念從一個指定的類別到另一個類別並不能解釋為何這種改變是困難的，而有些並不困難。換言之，為什麼將熱（heat）從物質類別改變到過程類別是困難的，而將鯨魚從魚改變到哺乳類卻不是那麼困難呢？Vosniadou 認為概念是嵌在物理世界中的理論架構，目前被接受的科學概念（包括地球、熱、力等）與基本的預設（*pre-suppositions*）是相抵觸的，但這些理論不斷的在日常生活的經驗中被驗證，所以要瞭解概念改變的本質和困難時，應將日常生活經驗一併考慮進去，才能論及概念改變的難易，否則單以物質和過程的本質概念來區別是易引起爭議的。同時，Vosniadou（1994, p.65）認為 Chi 的分類有些武斷（*arbitrary*）、比較屬於語法的（*syntactic*）而非語意的（*semantic*）、且分類有所爭議。有關此點作者認為將概念依本質分類有助於研究者瞭解學生知識表徵的特質，而類別的選取則應取決於彼

此之間所存在的特性及一研究之需求而異。有關 Chi 的論點這部份在前面已討論過，在此不再贅言。

Vosniadou（1991）將兒童的心智模式分為三種：現象模式（*phenomenal model*）、同化模式（*assimilatory model*）、科學模式（*scientific model*），而概念改變是一種漸進的過程。第一種現象模式是一種直觀、經驗的信念，如兒童深信太陽是繞著地球運行的。第二種是一方面既保有自己的直觀看法，一方面又認知到科學觀點的重要性，如一方面知道地球是球體的，但另一方面受到信念及觀察的結果，無法放棄實際的觀察結果，即地球是平的。因此，他們天真地發展出兩種概念和諧共存的模型，最普遍的是雙地球模型（*dual earth model*），一個是我們所生活的地球它是平的，另一個則是高掛在天空上。或是我們所生活的是下半球，而上半球則有如穹蒼一般覆蓋在天空，從這個觀點來看，我們是生活在地球裡面的而不是地球上。要直到小學畢業後的兒童大部分才能建構出正確球體形狀的地球，它高掛在天空且被太空和其他星球所環繞，這時地球才是一種屬於天文的物體。根據 Vosniadou（1994）在跨國的比較研究中指出，兒童對同一個物理現象所持有的心智模式的種類不多，即使不同文化的孩童也只會出現幾種類似的想法。第三種才是科學家所建立的科學模式。邱美虹和翁雪琴（1995）曾就此三種模式探究學生四季概念，研究發現國三學生大都擁有的是現象模式或同化模式，以「夏天是因地球距離太陽較近，冬天是地球距離太陽較遠」所致來解釋四季成因。

Thagard（1992）則認為 Vosniadou & Brewer（1987, 1990）對兒童由平坦的地球過渡到球形的概念改變與理論取代賦予某種特徵，事實上仍是屬於新概念增加或刪除舊概念，就 Vosniadou 與 Brewer 的研究結果並沒有證據顯示種類相關（*kind-relation*）的概念改變，而是顯示兒童



由某些概念模式過渡到球形地球模式之部份相關 (part-relation) 的模式。Vosniadou 的研究雖然指出,較大的小孩較有可能形成球體或正確的模式,但卻未提供證據說明既有的概念已不復存在。若是如此,那兩種模式仍有可能是共存的,那就無所謂根本的概念改變。

那為什麼兒童對建構地球形狀的概念有困難呢? Vosniadou (1994) 認為兒童受到兩個主要的前提的影響才會產生所謂與科學不符的模式: (1) 空間的組成是相對於地而言,有上、下之區別。 (2) 沒有支撐的物體會向下掉落。兒童根據這兩個物體的架構來處理天文的問題,才會出現雙地球模型。不難理解的是由於兒童理論架構的前提是屬於物理的,這些初始的想法來自於日常生活的經驗,所以當有關他們地球的資訊與其理論的前提相衝突時,在同化到既有的概念結構中時便形成迷思概念了。與對 Carey 的看法相同, Thagard (1992) 也認為 Vosniadou and Brewer 的研究中,兒童彷彿放棄舊有的想法而發展新的概念,但事實上並非出現樹的轉變或分枝跳躍類型的概念改變。

有關天文的研究,還有一個知名的教學媒體研究稱為 The Private Universe (Schneps, 1987) (本文作者常在教學時以此作為教學討論的素材),該研究指出,無論是否接受過物理教育或地球科學的大學生都傾向於以直觀的方式來解釋四季與月相的成因,在受訪的 23 位哈佛大學生中就有 21 人持有迷思概念(如四季成因是地球靠近太陽時為夏天,遠離太陽時是冬天)。同時 Schneps (1987) 在影片中訪問一位排名前 10% 的九年級(高一)學生海德(Heather)對四季與月相盈虧的概念,研究發現海德以地球的影子遮住月球來解釋月相成因,即使在教學後她仍持有自己的想法, Schnep 稱之為「個人的理論」(private theory)。這種以直覺解釋自然現象的迷思概念在國內亦有類似的研究發現(邱美虹和翁雪琴, 1995; 邱美虹和

陳英嫻, 1995; 姜滿, 1993)。海德也嚐試用科學的語言(直射或斜射)來說明四季的成因,但這種科學的語言在她的理解中卻是一個錯誤的想法,就如同「斜射」在英文中是「indirect」,因此海德解釋便是「如光線照到鏡子又反射回來一般」。海德自我建構的方式是納入教師的科學語言,但以自己的方式去詮釋其意義。出乎意料的是,當她的教師看到海德即使在教學後仍持有部份先前的錯誤想法時,從原本自信滿滿的認為一向學習表現甚佳的海德應具有正確的科學概念,卻無法相信海德的認知與其表現有如此的落差,同時也無法理解海德所持有的概念是如何從教學活動中發展而得的。

無獨有偶, McCloskey (1983) 曾對 Johns Hopkins 大學的學生進行有關運動概念的研究,研究結果指出,即使修過高中物理的學生對於物體運動持有一些素樸(naï ve)的想法, McCloskey 稱為衝力理論(impetus theory)。這個理論有兩個基本的假設:一為使物體運動需施加一種內力或「衝力」使其維持運動狀態;另一為運動物體的衝力會逐漸消失(可以是自發性或外力的影響),以致物體運動逐漸減慢或停止。McCloskey 認為學生這些素樸的理論,可追溯到六世紀 Philoponus 或十四世紀 John Buridan 等人的觀點,他們之間有其類似處。譬如, Buridan (Clagett, 1959; 引自 McCloskey, 1983) 提及: *使一物體運動要加入一種衝力或力(force),而力的方向與物體運動方向一致 但此衝力會受空氣阻力與重力的影響而逐漸減小*。McCloskey 認為學生這種與早期衝力想法一致的結果說明以衝力解釋運動物體在真實世界的現象是很自然的結果,就如同學生在拋體運動或單擺運動的表現一般。此觀點與 Clement (1982) 對學生拋體運動的研究結果不謀而合。這些與經驗相輔相成的想法,在不同的年齡、背景知識或文化中學生的表現上皆可見,且素樸理論不易改變的現象亦存在。

另一位長期從事學生物理概念學習的學者 diSessa (1993) 則認為兒童沒有一致性及連貫性的理論，兒童的知識是片斷的、零碎的、鬆散沒有系統的概念，不能夠符合一系列分類的原理來做詮釋一致性的判斷。因此，不能藉由單一的判準來決定素樸概念是否為理論相似 (theory-like) Vosniadou (1994) 對 diSessa (1993) 所提出兒童對物理世界的直覺知識是“零碎的、片斷的” (knowledge in pieces) 的觀點並不表示贊同。Vosniadou (1994) 認為信念是受制於一組本體的和認識論的預設。信念本身並不是以片斷的方式在操作 (operate) 而是形成一個一致性的結構 (coherent structure)。在這樣的理論架構中，專家和生手的差異並非是在生手的物理知識是瑣碎的，專家是連結到物理的原理原則；而是生手的知識是連結到本體論的和認識論的預設，這些預設對基本相似的經驗信念提供一個完全不同的解釋架構。同時，生手（不似科學家）並未知覺到預設和信念的假想狀態限制了他解釋新資訊的方式。如前所述在 Vosniadou 的研究中發現學生對重力上下的觀點以及地球球體形狀的不一致性，並不能以 diSessa 的理論來解釋。學生的迷思概念並非肇因於局部的 (local)、孤立的 (isolate) 或不正確的信念 (false beliefs or p-prims)；相反的，他們是與基本的本體論和認識論的預設相連結，而這些預設不斷在日常經驗中被確認，以致很難改變。Vosniadou (1994) 同時指出，她的觀點與 McCloskey (1983) 和 Carey (1983) 不同，她認為迷思概念是自發性建構的，它通常是在測試的情境下產生的，而不是學生深層所持有的特定理論，迷思概念是從一些確立的預設產生的。所以學生可以改變他們局部的、情境的心智模式，從一個迷思概念到另一個迷思概念，或是呈現內在不一致性。但這是學習失敗的結果，肇因於學生嚐試去克服基本上衝突的解釋架構。所以 Vosniadou 認為這是預設

難以改變而不是迷思概念本身。

有關「兒童是否會拋棄原有的想法呢？」這樣的觀點，Thagard (1992) 提出一個值得思考的方向，他指出兒童的心智發展可能出現兩種基模 (schema)：

1. 兒童知識的成長與科學家知識的成長兩者相似的歷程。兒童剛開始以萬物有靈論對事物行為做詮釋，但當他們被教以更多的生物學的與物理學的機制之後，他們有意識或無意識地體會這些比舊理論具有更大詮釋一致性的理論，因而「放棄」了萬物有靈論。
2. 兒童僅僅只是獲得生物學與物理學知識，他們並沒有因學習新的理論而將先前已存在的萬物有靈論信念視為競爭的對手。舊的生物學與物理學知識理論在初學時並未明顯或強烈地被取代。萬物有靈論被拒絕並非因為其較新的想法較不具解釋的一致性。相反的，兒童的心智發展是獲得新的生物學知識而舊的信念「仍」在日常生活(非特定領域情境)中被使用。

就基模 1 理論取代而言，可類比成你有一堆新衣服當你決定這些衣服比舊的更好時，你把它們捐送給救世軍。就基模 2 而言，不需要做任何比較與評估，你的舊衣服簡單地收藏在衣櫃中，視需要而用之。

Thagard (1992) 認為雖然 Carey (1985) 比較喜歡應用基模 1 來描述兒童的認知基礎以對應科學革命，但她的研究資料顯示與收藏於衣櫃中模型 (back-of-the-closet model) 一致；而 Chi (1991) 則主張學生在學習物理理論時從未放棄他們舊有樸素的理論，且在日常生活中不斷的使用它，因此屬於第二種類型。至於 Vosniadou，作者認為屬於後者，既有的知識與新習得的知識產生互動而有共同存在的可能性。

## 二、科學家的概念改變

至於有關科學家的概念改變又是如何呢？本文將從 Nersessian, Gentner, Thagard 等人的論點出發來回答此問題。

Nersessian (1992a) 提出利用「認知歷史分析法」(cognitive historical analysis, 以下簡稱 CHA) 對科學家們的思考方式與解決問題的策略進行個案分析, Nersessian 認為「認知歷史分析法」的研究方法與一般科學史家對科學家的表徵與問題解決所做的細部結構的歷史性探討不同。CHA 假設科學家所使用的問題解決策略以及他們在科學史發展過程中的表徵都較一般推理與表徵過程相當複雜且精緻, 因此可嘗試經由科學的認知對一般人類知識表徵或解題的觀察更加理解, 也可經由認知理論重建科學的思考。而 CHA 正是組合了真實科學活動中分析工具的個案研究以及認知科學的理論來創造一個在科學中概念結構如何被建構以及如何改變成可理解的理論。CHA 對於歷史過程的分析可提供一個學習活動的模式, 它有助於學生建構科學理論的表徵。因此科學史不再是個案的儲藏室, 而是一個儲存了如何建構、改變和與科學表徵溝通之策略性知識的寶庫 (Nersessian, 1992a)。故 CHA 有助於我們對科學家概念的發展與轉變有所認識。

Nersessian (1992a) 以馬克斯威爾 (Maxwell) 個案為例, 說明馬克斯威爾所提出場(field)的概念事實上有一部份從湯姆生 (William Thomson, 1847) 倡導電磁現象和流體力學的方法而來, 還有一部份的特定表徵是來自法拉第 (1831) 所提場的理論, 以及分析連續現象的數學推理是與一群劍橋的數學物理學家所討論而得的。而法拉第所引進的心像(image)觀點以及湯姆生類比法對馬克斯威爾 (1865) 建構電磁場的表徵扮演很重要的角色。愛因斯坦就曾推崇法拉第及馬克斯威爾為十九世紀最偉大的兩位物理學家。Nersessian (1992b) 認為法拉第和馬

克斯威爾在理論的發展過程中都利用意像的表徵(imagistic representation) 或類比所提供現象與數學表徵間一個過渡的關係, 以促使一連串相互連結的推論形成新的概念。Nersessian (1992b, p.50) 指出學習科學的概念結構需要的不僅是對既有的組成加以重組和將新的事實置入既有的架構中, 而是建構新的概念以及產生一個新的架構的過程以利概念改變。至於 Kuhn 視科學革命為格式塔轉移(gestalt switch) 由鴨子(如牛頓力學)到兔子(如相對力學)的觀點, Nersessian 認為是引領我們走入歧途, 它並未對科學上的概念改變的本質提供任何的解释與理解。

Gentner 等人 (1997) 則指出, 類比是知識改變機制中很重要的一環, 經由類比至先前的知識能促進吾人對新事物的洞察, 即使是科學家在他們理論發現的過程中也會使用類比的方式來拓展其對個人研究領域的認知(如科學家 Boyle, Carnot, Darwin, Faraday, Kepler 和 Maxwell)。

Gentner 等人 (1997) 提出四個認知的機制, 來說明類比有助於改變知識以及理論的結構。Gentner 等人所提出概念改變中類比的四個過程如下：

### (一)強調(highlighting)

根據 Gentner 等人 (1997) 的觀點指出, 人類的表徵基本上是許多龐大豐富且交織在一起的概念所組成的網路, 尤其是初期的表徵傾向保守, 它保有許多情境學習中的細節。透過類比可創造一個可掌控相關資訊的部份集合, 使一些未必被注意到的關係之共同性得以彰顯。

### (二)投射(Projection)

根據 Gentner 的類比對應理論, 並非所有的推論都是正確的, 所以事後對應過程(postmapping processes)是必須的, 以確保推論的正確性。

### (三)再表徵(Re-representation)

對目標物或類比物的表徵的改變是在改進

對應的關係，其基本上在修補兩個不配對的關係。

#### (四)重建(Re-structuring)

重建是一個在目標領域中組成元素作一個大尺度的重新組合，以便形成一個新的一致性的解釋。這個重組可以是增加或減少因果連結或改變特定的概念。Gentner 等人(1997)推測大部份重建的發生是多重類比反覆使用的結果。

Gentner 等人分析卜勒(Kepler)的手記發現，他大量使用類比以突破其思維的障礙，類比對於克卜勒瞭解天文現象有不可磨滅的價值，尤其是多重類比的使用（如光與熱）以及「對應-分析的循環」(map-analyze cycle)機制，拓展其原有對應的類比關係。究竟克卜勒的概念改變，所指為何呢？Gentner 等人(1997)認為有以下六點：

1. 從數學定律到物理的因果關係
2. 行星的軌道從永恆不變的圓到在太陽與行星間連續不斷的行進
3. 拓展地球的知識到天文的現象
4. 行星的路徑從圓到橢圓（靠近時移動較快，遠離時移動較慢）
5. 從視太陽為有生命到無生命
6. 視行星為擁有智慧(intelligence)到星球的交互作用

Gentner 等人認為上述六點中，1, 3, 4 屬於理論的改變，而 2, 5, 6 是屬於概念的改變，而其中第五點可視為 Thagard (1992)所謂的分枝跳躍。

Nersessian (1989)指出類比不僅是利用邏輯推論以解決問題的方式來引導我們思考，同時類比本身就是在做推論的工作以及產生解決問題的方案。Feynman (1963, 引自 Chi, 1992)曾說：我們必須擁有想像力來思考先前未曾見過或未曾聽過的事物。知名認知科學家麻省理工學院的教授 Minsky (1985, 1986)也在『The Society of Mind』一書中指出，「我們是如何理

解萬事萬物的呢？我想就是透過使用一個或數個類比的方式，將我們已知的比擬到未知的一些事物上。」這些都說明類比在科學思考上的重要性。Gentner 與其研究群在對克卜勒的手記及相關資料中發現他在推廣其理論時運用了許多類比推理，但 Gentner 等人也指出，雖然克卜勒不斷在其研究中使用類比，但不保證這些類比皆具有相同的功能，同時也不意味著類比就會引導他產生概念改變。Gentner 等人指出類比的使用成功與否取決於歷史的情境或脈絡 (historical context)，局部的類比有利於使用在已建立好的架構中，而遠距的類比則較有利於創造新的架構。

Dunbar (1994)觀察微生物實驗的研究過程發現，許多科學發現的進展是透過使用許多的類比而產生，而這些類比都被研究人員充分討論與延伸過。Dunbar 發現多重類比是促進創造力的最好方式，Gentner 認為這項結果與他們對克卜勒研究工作的分析具有一致性。

Thagard (1992)則從其對應理論詮釋性的觀點來分析科學史上的重要發現，他指出對概念革命而言，詮釋的一致性為理論適用範圍的主要機制，當不同的理論取代另一理論時，詮釋一致性在不同的理論觀點，有其重要性。Thagard 認為新舊理論或趨勢之間的概念關係與詮釋關係有四種可能性：合併 (incorporate)、含攝覆蓋 (sublate)、取代 (supplant)、忽視不理 (disregard)。合併是指舊理論僅有部分與新理論結合；含攝覆蓋是丟棄舊概念再重新組織，甚至於在舊理論加入新的假說之後，成功的納入新的理論之中；取代是指舊理論完全被丟棄，以新理論取代；忽視不理是指新理論被舊理論所忽視。在科學領域中大部份非革命性的發展最大的特色是屬於新舊理論的合併，而在非科學領域或某些社會科學領域的發展，通常是被忽視不理。但自然科學的革命傾向於含攝覆蓋與取代。Thagard 根據上述四點分析科

表 4：新舊理論體系的關係 (Thagard, 1992)

革命名稱	合併	含攝覆蓋	取代	忽視不理
拉瓦錫			是	
達爾文			是	
地質學			是	
哥白尼			是	
牛頓		是		
愛因斯坦		是		
量子論			是	
行為主義		是		
認知學派			是	

學史上的重要革命及心理學的革命，如表 4 所示。表中所呈現的科學上的概念革命大都屬於「含攝覆蓋」或「取代」兩種。以拉瓦錫的氧化論和達爾文的演化論為例，它們則是分別取代了燃素論和創造論。而在物理學上，通常是新的科學理論取代舊的理論、放棄大部份舊的理論，但是在二十世紀的物理學革命則是新的理論覆蓋、合併牛頓力學理論而不是放棄。在心理學上則是行為學派的被取代，而改以認知學派以更大的包容性來

解釋人類的心智活動與行為。但 Thagard (1992) 在比較兒童的概念改變與科學家的概念改變後發現兒童所產生的新理論以合併或忽視不理舊理論出現的頻率比取代或含攝舊理論為多。

本文作者認為 Thagard (1993) 這種分類的觀點與 Chinn and Brewer (1992) 以異例的觀點來探究學生的概念改變有異曲同工之效。Chinn and Brewer (1992) 提出使用異例學習時學生可能產生七種現象：(1) 忽略(ignoring) 異例的存在；(2) 拒絕(rejecting) 異例；(3) 排除(excluding) 異例；(4) 將異例擱置一旁；(5) 對異例再詮釋(reinterpreting)；(6) 周圍理論的改變(Peripheral theory change)；(7) 理論的改變(theory change) 等(如表 5 所示)。Chinn and Brewer 同時提到，前述的七種情形是在討論：(1) 個體接受資料；(2) 個體解釋資料；與(3) 個體是否改變理論；而此三種情形的程度只是差別而已。比較表 4 及表 5 得知，學童對異例的反應唯有出現在外圍理論的改變或理論的改變時，個體才會改變其原有的理論，此結果與在科學家的新舊理論體系的關係上出現「取代、含攝覆蓋為多而

表 5：學習者在面臨異例時的反應 (Chinn &amp; Brewer, 1993)

反應的類型	反應的特徵		
	個體是否接受訊息	個體是否解釋訊息	個體是否改變理論
忽略異例的存在	否	否	否
否認異例	否	是	否
排除異例	是或也許 <sup>a</sup>	否	否
將異例擱置一旁	是	尚未 <sup>b</sup>	否
重新詮釋異例	是	是	否
外圍理論的改變	是	是	是，部分改變 <sup>c</sup>
理論的改變	是	是	是 <sup>d</sup>

a：個體可能接受該訊息為有效的，或者對該訊息仍是否有效持不可知的態度。

b：個體期望未來該訊息能為目前的理論所解釋。

c：只有保護帶上的信念被改變。

d：核心信念被改變。

合併和忽視不理舊理論較少」並不具有一致性。

至於 Chi (1992) 則對異例提出不同的看法，她認為異例常被拒絕、同化、或做事後的解釋，異例之所以會被拒絕是因為它們還未被認為一因果關係的證據，因此並不一定有助於概念的改變或科學的發現。但她強調吾人若能看到一個現象的異例時，事實上概念改變早已發生了。亦即必須先產生概念改變後才能達到典範的轉移。換言之，Chi 認為根本概念改變的發生雖然可以預測科學的發現，但它通常是發生在下列情況「之前」而非「之後」：亦即(1) 確認某種現象是一種異例，(2) 在實際觀察中歸納出規則的存在，(3) 形成並檢驗假說。因為這些過程可能是發生在概念改變之後所採取的行動，因此從確認異例的存在為出發點的研究，並無法促進我們對發現過程有所認識。這樣的觀點與 Lakatos (1970, 引自 Chi, 1992) 所提出異例的累積未必產生派典的轉變有異曲同工之處。

Thagard (1992) 指出，一般學習者的概念改變與科學史上的概念改變存在著某些共通性，但也存在著某些重要的差異性。雖然一般的學習並不是簡單的知識累積，它可能是有系統的學習或革命性的概念改變，正如同科學的革命一般；但有時也並非如此。

### 三、比較兒童的概念改變與科學家的概念改變

根據前述，兒童在某些概念上與科學史上的概念進展相平行，如兒童對運動的解釋是力存在物體，但 Driver, Guesne, 和 Tiberghien (1985) 則認為我們不應對這樣的平行關係做過渡的推論。理由有二：其一為通常兩者之間只是些部分相似而已，並不代表整體架構是一致的；其二為以往科學家所使用的想法是一致性概念系統的一部份，但兒童所使用的概念卻

未必具有一致性，就如同孩童對力與運動的概念並不具有相當的廣度與內在一致性的觀點。

Thagard (1992) 認為若從內容(content, 指認知發展歷程)、結構(structure, 指概念改變類型與信念修正的歷程)、機制 (mechanism, 指認識論上的改變) 三個向度來比較兒童與科學家知識的成長，皆可發現其彼此的差異性。首先在內容部分，Thagard 認為兒童的物理學理論並沒有被訓練到可被稱為亞里斯多德或托勒密的物理程度，同時兒童也沒有發生燃素理論被氧化理論所取代的認知發展。至於兒童認知發展的成長歷程被喻為類似於科學家所歷經的發展，可能只是偶發的個案 (例如運動理論發展的原動力, McCloskey, 1983), 因此，通常兒童尚未成熟的理念與科學家早期的觀點之間是有很大的不同。

其次對於結構對應之類比，Thagard (1992) 認為此點雖可見其相似性，但仍有待進一步證據的支持。他以數位學者之觀點為例，如 Carey (1985a) 的研究中指出，兒童知識體系的改變歷經一些簡單的概念重組 (如合併)；Vosniadou and Brewer (1990) 的研究主題中，在部份相關的概念發展有一些內在的改變；但 Chi (1992) 的研究主題中，則認為結構的對應若是在生物學中為樹枝狀的概念跳躍，但在物理學上則屬於樹間的跳躍。在專家與生手的研究中亦指出，專家知識的結構較具組織性、階層性、完整性，而生手的知識結構則是鬆散的、非階層性的、瑣碎的、部份的，甚或表面的 (e.g., Chi, Glaser 和 Rees, 1982)。因此結構對應與否，到目前為止，並沒有啟發性的證據顯示兒童歷經革命性的概念改變或階層性的再解釋，或許未來的研究會出現新的證據 (Thagard, 1992)。

最後，Thagard 認為沒有任何理由懷疑當科學家在獲得新的概念、新的類型關係、新的部份相關的概念產生機制與兒童的概念產生機制有任何實質上的不同。從前面的討論中我們

也不難發現科學家在概念的發展上會運用到類比的機制或概念的增加、減少；同樣的學童在學習新的概念時也會經由使用類比的策略以達到理解新知或概念改變的目的。問題是孩童的理論發展是否真如科學理論一般是受制於「解釋一致性」呢？唯作者認為已有相當多的文獻可支持以下的觀點，那就是專家在機制上的發展應屬於較為高階的結構或原理的對應，而兒童或生手則較偏向於表面屬性的發展與認知，因此即使皆使用類比，但目的卻不相同。

總之，在前兩節以及此處我們已討論過數位學者對兒童及科學家概念改變的觀點，故作者擇重點彙整如表 6 所示，藉以比較彼此的論點。表 6 顯示，雖然有多位學者對「兒童的概念改變與科學家的概念改變相同」表示不贊同，但所持的理由並不全然相同。以 Chi 和 Vosniadou 兩位認知科學家為例，她們皆同意兒童概念改變的發展是逐漸形成的，是一種演化的過程，同時也認為概念改變的源頭並非是從迷思概念著手；但 Chi 認為要產生根本的概念改變必須另外發展一個適當不同類別的本體樹，才可能進行根本的概念改變，否則只是一般的概念改變，並不難發生；而 Vosniadou 則從兒童對現象的預設角度來看概念改變的發

生，她認為唯有這些不斷在日常生活中被加強的預設改變了，兒童對物理世界的心智模式才有可能改變。又如 Nersessian 和 Thagard 兩位科學史哲家雖然都從科學史上的個案分析著手研究，亦同時反對兒童與科學家有相同之處，但所持的論點也不盡相同。以 Nersessian 為例，她從個案分析的研究中發現科學家的發現過程需要不斷建構、修正才可能發展出新的理論，與一般對科學家的發現所做的描述或 Kuhn 所謂的格式塔轉變是不相同的；而 Thagard 則認為兒童根本未經歷早期科學家（如亞里斯多德或拉瓦錫時代的想法）所持有的初始想法，因此若將兒童與科學家相比是一個不適切的比較。本文作者較為贊同學習本身就是一種概念改變的過程，只是類別不同，它是循序漸進逐漸演化而來的，只是「結果」看似很突然罷了，其「過程」應是有脈絡可循的。上述這些從認知的角度來探討兒童與科學家在概念改變上的關係，是否如 Carey 或 Kuhn 所指兒童的知識內容、結構、機制在概念改變時如同科學家一般是靈光乍現，屬於格式塔式的轉變呢？還是如其他學者所言，不僅有脈絡可循，漸進發展，且因學科而異呢？類似的研究仍有待學者們努力，以揭開有關概念改變研究之謎吧。

表 6：比較各學者對兒童與科學家在概念改變上的特質與相似性

學者	學科領域	兒童概念改變的特質	與科學家概念改變相同
Carey	生物	知識的累積概念轉換有如格式塔的轉換	√
Chi	生物 物理	類別內的概念改變 類別間的概念改變	X
diSessa	物理	瑣碎的、片斷的、不一致的	X
Nersessian	物理	有脈絡可循的	X
Thagard	科學史（含物理、化學、生物、天文、板塊學說等）	新舊知識以「合併或忽視不管」方式出現的頻率較「合攝覆蓋、取代」為多	X
Vosniadou	天文	以漸進的方式由初始模型、同化模型、到科學模型	X

註：√ 表具相同，X 表不相同。



### 小 結

Nersessian (1992)在其研究中指出 Carey (1985)認為認知發展和概念改變（重建）的過程與科學史上的重要革命相類似充其量只是比較學生或兒童的初始狀態與預期的終止狀態。這種情形就如同 Kuhn 的格式塔轉換一般，是未被心理學家仔細研究過的結果。概念改變的認知理論視科學的發現為一過程，在這過程中科學家藉由解題過程不斷主動建構不同的表徵以解決問題或突破思考的窠臼，這種科學家的認知活動提供學習本身一個極佳的模式，以供模仿與參考。雖是如此，但科學家的概念改變與學童的概念改變是有其差異性的。

不論從天文學(Vosniadou & Brewer, 1987, 1990)、生物學(Carey, 1985a、Fararri & Chi, 1998)、物理學 (Chi, Slotta, & deheew, 1994; McCloskey, 1983) 的概念改變，我們注意到學童的概念改變並沒有出現像科學革命一般的特別。換言之，學習物理可能包括概念重組（如樹枝狀的跳躍，Thagard, 1992; Chi, 1992, Chi 等人，1994）類似於發現主要的概念修正（conceptual revision），而似乎在兒童的概念發展並未發生階層式的重新解釋（hierarchy reinterpretation）。換言之，到目前的研究顯示，兒童概念的發展相對於科學是沒有出現革命性的概念改變，因為他們沒有出現樹枝般的跳躍、樹枝上產生新的枝芽做為階層性類別、部份階層性的基本改變、或是有如 Chi 所謂的跨類別的概念改變。無論如何，要達到任何關於概念改變類型確定的結論，並沒有發生在兒童的概念發展上(Thagard, 1992)。若從 Lakatos (1970) 的觀點來觀之，兒童概念的發展對硬核(hard core)的影響較少，反倒是對保護帶及輔助假說的改變較多，此部分與科學家進行硬核概念的改變有明顯的差異。

根據上述的討論發現，以 Carey 而言，她認為兒童有所謂根本的概念改變發生就如同

Kuhn 所言的格式塔轉換，但 Chi、diSessa, Driver, Thagard、Nersessian 及 Vosniadou 等人則質疑「概念改變在兒童身上所發生的與科學家相同」。雖然如此，但他們所持的論點未必相同。如 Chi (1992)認為過去十多年來孩童被視為有如科學家一般是不適當的。雖然科學的發現與兒童的發現主要的不同除了兒童或個別科學家要說服的是自己，而科學發現必須說服的是科學社群外，另外還有知識建構的過程與機制亦是不同的。

上述許多議題都值得再深入探究之。雖是如此，但作為研究者在探討與比較概念改變相關研究時，對討論的範疇是否明確、結果可否直接用以相互比較、以及是否能提出具體的、嚴謹的說明與判準等，皆應審慎考量，以免造成結論及比較成為空洞或無意義的活動。

## 肆、概念改變與教學

Duit (1993)的研究指出，過去的研究對學生的迷思概念已有許多具體的資料顯示學生科學學習的困難，前文也指出學習的問題所在，那在教學上我們可以如何做呢？根據前述討論，以下作者提出幾項教學策略與對教學的建議，作為改進教學、促進概念改變之參考。

### 一、教學策略

#### (一)CBI 教學

Chi (1992)對傳統研究素樸概念中所指的堅持(robust)、一致性(persistent)沒有發展的趨勢、同質性(homogeneous)，以及學生具有與中古世紀的科學家相同的迷思概念提出質疑。她認為上述這幾點都未必一定成立。根據 Chi (1997)的觀點，類似 EP 概念在理化、生物、社會科學及日常生活中皆可見，如熱轉換(heat transfer)、電流(electricity)、天擇(natural selection)、擴散(diffusion)、供與需(supply and



demand)、蹺蹺板(seesawing)、拔河(tug-of-war)、一群以人字形飛翔的鳥(a flock of birds flying)、塞車(a traffic jam)等皆是。因此, Chi (in press)認為在教學中從學生既有的素樸概念中去建構教學環境是不足以改變學生的概念, 因這些概念與待學的概念是不相容的, 因而應積極創造或活化一個融入『平衡過程』概念的適當基模, 才足以幫助學生學習屬於『平衡過程』的科學概念。

Chi (1992) 指出要進行所謂類別間的概念改變有三個步驟: 首先, 學生必須了解或直接被告知有些物理概念屬於不同的本體類別。若讓他們自己去發現, 那就如同是科學家發現的過程, 對學生而言是非常困難的。所以學生必須要學習“過程”的性質和行為, 尤其是屬於CBI的事件。在實證上的研究, Slotta、Chi和Joram (1995)已有實驗的證據顯示CBI教授的特質有助學生進行概念改變。因此, 她提出根本概念改變的三個步驟:

1. 經由獲得過程(acquisition process), 學習新的本體論類別的性質。
2. 經由獲得過程, 學習新的本體論類別中個別概念的意義。
3. 重新指定一個概念到本體論的類別中。

因此, 學生首先必須瞭解CBI的特質。其次, 學生必須以一種緩慢和投入的態度經由一般知識獲得的過程(如區別、通則化等)來學習這些物理概念。最後, 學生必須重新指定(re-assign), 或“確認”(identify)這些屬於過程類別的實體(entity)。而這個重新指定的步驟必須要能: 1. 主動放棄原有概念的意義而以新的意義去取代。2. 允許同一概念同時擁有兩個意義, 而這兩個意義可在不同情境中被觸接(access, 如信仰上帝, 同時也是科學家)。3. 經由一致性的過程和強化新意義而自動取代。唯有對概念的本體意義有所認知後, 才可能進

行根本的概念改變。因此在教學上, 教師應對概念的本體特質加以明釋。

## (二)類比教學

Gentner 長期以來以類比探究學習的機制指出, 類比雖然有助於概念的理解, 但未必會產生概念的改變。Chi, Bassok, Lewis, Reimann和Glaser (1989), Chi和VanLehn (1991)指出類比有時會阻止概念的改變, 因為低成就者解題時會參照範例解題, 這僅是利用表面特徵而非結構的對應。不似專家在解題時所使用深層結構的對應。因此低成就者的類比解題並未能促進其概念的獲得或改變。這反映出感官不等同於認知(perceptual not conceptual)的觀點。雖然本文作者並不完全贊同Chi (1998)對類比的看法, 但同意若類比能考慮到概念的本質, 那類比亦能成功達到科學學習的目的。

在科學教學的研究中Glynn和他的同僚(Glynn, 1991; Glynn, Duit & Thiele, 1995)曾提出六步驟的類比教學模式(Teaching with Analogies Model, TWA): 介紹目標概念、引導回憶類比概念、確認目標物與類比物的重要屬性、對應相似性、說明類比不適用處、提出結論。這個教學模式非常具體, 對教師在使用時, 容易遵循, 尤其是在對類比限制處的說明更顯重要。唯教師在使用類比時, 應盡量在教學前對類比物與目標物之間的屬性與關係對應加以規劃與分析, 教學中能指出類比對應處與類比之限制, 教學後亦可利用學生自我產生的類比進行概念的評量, 絕不可信手拈來, 因而造成學生對概念產生不正確的想法或更多的學習困擾。

## (三)科學史的認知分析教學

雖然從事歷史分析的學者都會在研究科學家的札記、筆記、日記等資料時問到「科學家真的如是想嗎?」, 同時也有些學者以科學史的脈絡來進行教學(如Roach & Wandersee, 1993), 但Nersessian (1992a)指出, 唯有對科學發現的過程以認知的角度加以分析, 才有助

於學生學習科學家的思維方式、瞭解科學概念的演進、進而建構推理的過程。這種方式與傳統科學史以歷史的角度來處理科學史上的問題以及看待科學史的功能是不同的。Nersessian (1992a)指出，歷史的過程提供學習活動一個模式，它可以幫助學生對科學理論建構出有意義的表徵，因此教學上可透過對科學家的認知分析促進學習的發生。

#### (四) 概念衝突

有關透過引起學生先前概念製造概念衝突的情境，以達概念改變的目的，已有相當多的文獻可供參考。譬如預測—觀察—解釋 (Prediction-Observation-Explanation, POE, White & Gunstone, 1992)的活動，此活動主要是要求受試者根據自己原有的科學知識對一科學現象進行預測，然後觀察實驗之進行，再對所觀察的實驗結果提出適當的解釋，這個活動主要是在激發受試者面對個人既有知識架構與科學活動結果出現不一致時，重新調適與組織，以形成新的知識體系達概念改變的目的。類似的策略還有幾種：如(1) Driver & Oldham (1986, 引自郭重吉, 1992)所提出之建構主義的教學模式，其內容包含確定探討的方向、引出學生的想法、學生想法的重組、應用新的想法、回顧想法的改變等五步驟。(2) Liem (1987) 的差異性事件(discrepant event)，以與預期不同的實驗來進行教學的活動，也是創造一個認知衝突的情境，以及(3) Chinn & Brewer (1993) 的異例(anomaly)方式，皆旨在引起學生先前的知識，再以衝突的產生來改變其認知結構或心智模式(mental model)。唯在使用這些策略時，教師必須對概念的本質以及學生教學前所持有的先前概念有所了解，才得以設計適切的教學活動與內容，以促進有意義的學習。

#### (五) 動態評量的運用

動態評量最早是由 Feuerstein (1979) 所提出，主要是去評量個體的表現在引導的情境

中互動的結果，它提供「學生能學些什麼，而非他們已學會了什麼」的潛能發展指標。因此動態評量的特質在於了解學習的歷程及認知的改變。Magnusson, Templin, & Boyle (1997) 認為動態評量是探究概念改變最適當的方法，因為動態評量可用來評量知識的建構過程，瞭解學生如何利用既有的知識去建構新的概念，以及如何經由複雜的問題解決和現象互動而產生新的知識。他們指出兩個可以達到成功評量的重要變數：(1) 提供引導量的多寡(2) 在適當的時機，以適當的方式提供應協助的技能與知識。教師在科學的活動中，可以透過動態評量的方式，提供學生處理一連串相關的現象，以便瞭解同一概念在相關情境中被使用的情形。同時，在這過程中可以讓學生在觀察中專注於重要事件的解釋，以及檢驗解釋的效度與解釋力，這些都有助於教師對學生科學學習的瞭解。

值得注意的是要有效使用上述各種教學策略其先決的條件應是教師本身要能有所知覺其個人的認知，再進行概念改變教學前或許教師也應先進行自我的概念改變工作。

除此之外，作者認為其他雖然還有一些教學策略但是否適合進行概念改變仍值得進一步探討，如 Novak & Govin (1984) 提出以概念圖(concept map)的方式將學生的知識結構表現出來，其主要的目的就是在於了解學生心智中概念的多寡和概念與概念之間的關係。本文作者認為概念圖的教學策略對概念的學習或有助益，譬如增加知識結構的階層性、填補缺少的概念、或用來診斷學生的知識架構等，但對是否有助於學生做根本的概念改變，仍有爭議之處。

至於這些教學所帶來的影響除了概念的改變外，還可從下列兩點來觀之：

#### (一) 創造力的培養

根據 Chi (1997) 的觀點，她認為創造力

就是對一個概念可以從基本上完全不同 (fundamentally different) 的面向重新再表徵它 (re-represent)。這裡所謂的基本上的不同，可以視為本體論上的差異，而創造性的產物則可以定義為個人以彈性方式跨過本體藩籬的成品。Chi 指出許多科學上的發現就是成功跨越了本體的邊界。

Gentner 等人(1997)則指出創造力是深層結構表徵的表現，在結構性的表徵中高階關係的結構可以容許兩個截然不同的信念結構迅速產生概念的改變。因此 Gentner 等人認為在許多學習的機制中 (如 Anderson (1982)的增加、調整、編輯；Wiser & Carey (1983)的區辨或通則化)，類比是唯一提供自我產生較大尺度知識的轉變。因此，Gentner 等人認為經由結構的對應所產生的是概念改變。因此，在教學上鼓勵教師適時、適切的應用 (多重)類比，可啟發學生想像的空間，並連結已知的概念到待學的概念上，達成概念學習或概念改變的目的。

#### (二) 先前知識與後設認知的培養

Driver 等人 (1985) 認為過去的課程並未考慮學生的先前知識 (prior knowledge) 因此無法促進概念學習，故在課程規劃上不僅應考慮學科的架構，同時也應將學生的想法一併列入考量，因而提出了以下幾點建議：(1)提供學生思考與反思的機會，(2)利用差異性事件使學生不滿意自己對現象的理解與解釋，進而進行概念改變，(3)蘇格拉底式的發問有助於學生警覺自己思考上不一致之處，(4)鼓勵學生進行有意義的建構以產生概念基模，(5)提供適當的學習情境，以供學生了解科學的範疇與限制。

Vosniadou (1994) 根據她從事多年兒童天文學的研究結果對教學提出兩點看法：(1)在教學設計上應將孩童的先前的假設與信念考慮進去，如此才能真正剔除其迷思概念而改變

其想法，(2)培養後設認知的知覺。Vosniadou 認為若缺少後設認知的知覺，孩童無法瞭解他們對物理世界所擁有的前提與信念是受人質疑的。針對此點，她提出三個建議：(1)提供孩童能主動動手做科學的情境 (建立問題解決的情境，使其能觀察、實驗和假設)，(2)鼓勵孩童對現象提出解釋、並與其他孩童分享解釋、批評、辨證，並與專家的解釋相互比對。

(3)認真的面對孩童的心智模式，並製造一個允許孩童對情境表徵、操弄、測試的環境，以及擁有成功修正這些表徵的機會。因此基本上，Driver 等人(1985)與 Vosniadou(1994)的教學策略皆以強調學生先前知識與後設認知的重要性，故在進行概念改變教學時宜重視這些能力的培養。

## 伍、結語與建議

### 一、結語

在過去幾十年來有關科學概念的研究中指出，科學學習的迷思概念具有普適性、固執性、強韌性，雖然認知科學家、心理學家、科學教育家等嘗試從不同的角度瞭解學生科學學習困難之所在，但概念改變很難發生似乎是一個潛在的共識。唯近年來，學者們進一步研究概念改變的機制後，又重新質疑這個問題，而嚐試加以區別難易的涵意。在我們進行有關概念改變的研究時，是否我們過度化約研究的結果，以至於忽略了概念在本質上的差異，進而未能發展較為有效的學習策略呢？本文在前面的討論主要是提供另一個進行概念改變研究的思考方向。

本文從 Chi 的不相容理論重新檢討概念改變的相關研究，若她的理論是可以接受的，那或許可以解釋初學者將新的概念與錯誤類別相連結，受到新舊基模在本體上的差異以及彼此

之間所具有的不相容性，便形成科學學習的阻礙，因而擁有迷思概念。既是如此，那從既有迷思概念著手是無法有效的幫助學習，因此，學生素樸的物質概念是必須揚棄，而從概念的本質著手。其次，若 Chi 對 EP 的特質所提出的論點是正確的，那愈早將 EP 的特質融入科學教材與教學中，將有助於學生瞭解一些與原有知識架構具不共量性的科學概念，那屬於 EP 的科學概念將不至於再那麼困難學習了。

其次，在科學史上的概念革命顯示，其所經歷的過程雖然彷彿有時如格式塔般的轉換，但事實上從認知的角度觀之，仍有其可遵循的脈絡，只是新舊理論形成的方式與型式不同罷了。

最後，在比較兒童概念改變與科學家的概念改變後，我們可以發現兩者之間是同中有異，異中求同。兒童的概念改變未必如科學家的概念改變一般是產生根本的結構重組，而科學家的概念改變也未必皆是相似的過程，唯要得到進一步的結論恐怕類似的研究仍需要再深入的探討。

本文雖然以個人的知識建構以及認知結構為主要討論的範疇，對於有關社會建構以及情意部份著墨甚少，但作者認為其仍有應受重視之處，如 Pintrich, Marx, and Boyle (1993) 指出，學校的學習不應是「冰冷(cold)、孤立(isolate)」的，概念改變亦應考慮學習動機、教室情境、以及同儕和師生互動的影響，從此觀點也可促進概念改變的發生，因此未來研究可拓展到更大的範疇。

## 二、未來研究的取向

從上述的討論發現，雖然在過去的一段時間裡，不同學者對概念改變提出不同的觀點，但仍有許多可供研究或有待澄清的議題，都值得未來從事有關概念改變研究者的參考，以下從學習、教學、研究三方面整理數點供大家參

考：

### (一)在學習方面：

1. 建立不同的科學概念學習路徑的資料
2. 探討並比較各學科內與學科間概念改變的本質、歷程與機制
3. 探討信念、概念和概念系統的本質
4. 探討概念改變的過程以及認知失衡 (dis-equilibration) 的本質
5. 探究兒童概念改變與科學家概念改變的機制

### (二)在教學方面：

1. 應確立概念改變的類別與特質，以有助於發展教學策略與教材
2. 在適當的學科內容處，儘早融入本文所謂限制為主的教學活動或教材內容
3. 應培養教師對促進概念改變教學策略的認識
4. 應鼓勵教師關心有關學生學習研究結果的啟示

### (三)在研究方面：

1. 應發展有助於進行學習研究的研究方法
2. 發展概念改變的學習理論 (個人的或社會的)
3. 建立本土化的學習理論
4. 跨國科學學習研究的比較
5. 應鼓勵跨領域學科專家 (如認知科學家、心理學家、科學教育家等) 之間的溝通與合作

綜上所述，概念改變的研究雖然無法明確的對概念改變下一個操作型定義、或對概念改變的機制提出一個具體且一致性的詮釋，但相關研究所提出觀點、教學策略或思考方向或許有助於教學者思考如何有效的促進學生的學習。在過去二十多年來有關迷思概念的研究已為教師與研究者指出了許多科學學習所存在的問題與困難，現在是我們該進一步瞭解概念成

因、概念改變的本質、機制與策略，才能有效的提昇科學教育的品質與成效。概念改變本身是一個長期且緩慢的過程，同理，這樣的研究也需身為研究者或教學工作者不斷的努力，才能對科學學習的瞭解有所助益。

## 致 謝

本論文之完成承蒙行政院國家科學委員會經費補助 (NSC 88-2511-S-003-072, NSC 88-2511-S-003-070)，作者研究成員的討論及審查委員細心指正，特此致謝。

## 參考文獻

1. 邱美虹 (1998, 12 月): 概念改變研究的省思。論文發表於中華民國第十四屆科學教育學術研討會。高雄市: 國立高雄師範大學。
2. 邱美虹和翁雪琴 (1995): 國三學生「四季成因」之心智模式與推論歷程之探討。科學教育學刊, 3(1), 23-68。
3. 邱美虹和陳英嫻 (1995): 月相盈虧之概念改變。師大學報, 40, 509-548。
4. 邱美虹、劉嘉茹、周金城、梁家祺 (1999): 認知師徒制對學生化學概念改變的影響。中華民國第十五屆科學教育學術研討會。彰化市: 國立彰化師範大學。
5. 姜滿 (1993): 國小學童地球科學概念之理解。台南師院學報, 26, 193-219。
6. 郭重吉 (1992): 從建構主義的觀點探討中小學數理教學的改進。科學發展月刊, 20, 5, 548-570。
7. 劉嘉茹、邱美虹 (1999): 概念改變機制之研究。論文發表於中華民國第十五屆科學教育學術研討會。彰化市: 國立彰化師範大學。
8. Carey, S. (1985a). *Conceptual change in childhood*. The MIT press, Cambridge, Massachusetts.
9. Carey, S. (1985b). Are students fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? In S. F. Chipman, J. W. Sedal, R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills* (Volume 2: Research and Open questions), Lawrence Erlbaum Associates, Publishers Hillsdale, New Jersey.
10. Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Implications for learning and discovery in sciences. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* (pp.129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
11. Chi, M. T. H. (1997). Creativity: Shifting across ontological categories flexibly. In T. B. Ward, S. M. Smith, & J. Vaid (Eds.), *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes* (pp. 209-234). Washington, DC: American Psychological Association.
12. Chi, M. T. H. (in press). Understanding of complex, abstract, dynamic concepts. In *encyclopedia of psychology*, APA and Oxford University Press.
13. Chi, M. T. H. (1998). Personal communication at the learning and research development center, University of Pittsburgh, USA.
14. Chi, M. T. H., deLeew, N., Chiu, M. H., & Lavancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding, *Cognitive science*, 18, 439-477.
15. Chi, M. T. H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, Volume 1. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
16. Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts,

- Learning and instruction*, **4**, 27-43.
17. Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of educational research*, **63**(1), 1-49.
  18. Chiu, M. H. & Chi, M. T. H. (in preparation). Students' ontological concepts of diffusion.
  19. Chiu, M.H., Chou, C.C., Liu, C.J., & Chang, J. Y. (2000). Dynamic processes of conceptual change: An investigation of constructing mental models of chemical equilibrium. Paper presented at the Second International Conference on Science, Mathematics and Technology Education, Taipei, Jan 10, 2000.
  20. Clagett, M. (1959). *The science of mechanics in the middle ages*. Madison, Wisc.: University of Wisconsin Press.
  21. Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American journal of physics*, **50**, 66-71.
  22. Darwin, C. (1964). *On the origin of species*. Facsimile of first edition of 1859. Cambridge, MA: Harvard University Press.
  23. diSessa, A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and instruction*, 10(2 & 3), 105-225.
  24. Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Some features of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*. Open University Press: Milton Keynes.
  25. Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Children's ideas and the learning of science. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*. Open University Press: Milton Keynes.
  26. Duit, R., Goldberg, F., & Niedderer, H. (1991). Towards learning process studies: a review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.) *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies: Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, March 4-8*.
  27. Dunbar, K. (1994). Scientific discovery heuristics: How current day scientists generate new hypotheses and make scientific discoveries. In A. Ram & K. Eislet (Eds.), *Proceedings of the sixteenth annual conference of the cognitive science society*, 985-986. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
  28. Dystra, D. (1991). Study conceptual change: Constructing new understandings. *Proceedings of an international workshop: Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, 40-58.
  29. Gitomer, D. H. & Duschl, R. A. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. *Journal of research in science teaching*, **28**, 839-858.
  30. Farami, M. & Chi, M. T. H. (1998). The nature of explanations of natural selection. *International Journal of science education*, **20**(10), 1231-1256.
  31. Feynman, R. P. (1963). *The Feynman lectures on physics*. Vol 2. Reading, Mass: Addison-Wesley.
  32. Gentner, D., Brem, S., Ferguson, R. W., Markman, A. B., Levidow, B. B., Wolff, P., & Forbus, K. D. (1997). Analogical reasoning and conceptual change: A case study of Johannes Kepler. *The journal of the learning sciences*, 6, 1, 3-40.
  33. Gopnik, A. & Wellman, H. M. (1994). The theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman

- (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. Cambridge: Cambridge University Press, 257-293.
34. Gutheil, G., Vera, A., & Keil, F. C. (1998). Houseflies don't "think": Patterns of induction and biological beliefs in development. *Cognition*, **66**, 33-49.
  35. Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies (TWA) model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science*, 219-240. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
  36. Glynn, S. M., Duit, R. & Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
  37. Keil, F. (1979). *Semantic and conceptual development: An ontological perspective*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
  38. Keil, F. (1999). Conceptual change. In R. A. Wilson & F. C. Keil (1999). *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, 179-182. The MIT Press, Cambridge, MA.
  39. Kuhn, T. S. (1962, 1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
  40. Kuhn, T. S. (1982). Commensurability, comparability, and communicability. *PSA* 2: 669-688. East Lansing: Philosophy of Science Association.
  41. Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos and A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth and the knowledge*, 91-195. Cambridge: Cambridge University Press.
  42. Liem, T. L., (1987). *Invitations to science inquiry (2nd edition)*. Ginn Press: Lexington, MA.
  43. Magnusson, S. J., Templin, M., & Boyle R. A. (1997). Dynamic science assessment: A new approach for investigating conceptual change. *The journal of the learning science*, **6**(1), 91-142.
  44. McCloskey, M. (1983). Naïve theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.299-324). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
  45. Nersessian, N. (1992a). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science Minnesota studies in the philosophy of science*, Vol. 15. Minneapolis: University of Minnesota Press.
  46. Nersessian, N. (1992b). Constructing and instructing : The role of abstraction techniques in creating and learning physics. In R. A. Duschl and R. J. Hamilton, (eds.), *Philosophy of science, cognitive science, and educational theory and practice*. Albany: SUNY Press.
  47. Niedderer, H., Goldberg, F., & Duit, R. (1991). Towards learning process studies: a review of the workshop on research in physics learning. *Proceedings of an international workshop: Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, 10-28.
  48. Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. New York Cambridge University Press.
  49. Osborne, R. J. and Wittrock. M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science education*, **67**, 489-508.
  50. Osborne, R. J. and Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland, NZ: Heinemann.
  51. Pfundt, F. & Duit, R. (1991). Bibliography:



- Students' alternative frameworks and science education. (3<sup>rd</sup> ed.). Keil, West Germany: IPN.
52. Pintrich, P. R., Marx, R. W., Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of educational research*, 63, 2, 167-199.
  53. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
  54. Roach, L. E. & Wandersee, J. H. (1993). Short story science: Using historical vignettes as teaching too. *The Science Teacher*, 60(8), 18-21.
  55. Roth, K. J. (1991). Reading science texts for conceptual change. In C. M. Santa & D. E. Alvermann (Eds.), *Science Learning: processes and applications*, 48-63. International Reading Association.
  56. Rumelhart, D. E. & Norman, D. A. (1981). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. In R. Klatsky & J. W. Cotton (Eds.), *Semantic factors in cognition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
  57. Schneps, M. (1987). *The Private universe*. Wolbacti image processing laboratory, by Harvard University and Smithsonian Institution, MCML XXXIX: President and Fellows of Harvard College.
  58. Sloman, S. A. (1996). The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological bulletin*, 119(1), 3-22.
  59. Slotta, J. D. & Chi, M. T. H. (1996). Understanding constraint-based processes: A precursor to conceptual change in physics. In G. W. Cottrell (Ed.), *Proceedings of the eighteenth annual conference of the cognitive science society*, pp.306-311. Mahwah, NJ: Erlbaum.
  60. Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Joram, E. (1995). Assessing students' misclassifications of physics concepts: An ontological basis for conceptual change, *Cognition and instruction*, 13(3), 373-400.
  61. Strike, K. A. & Posner, G. J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, 211-231.
  62. Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
  63. Toulmin, S. (1972). *Human understanding*. Oxford University.
  64. Vosniadou, S. (1991). Conceptual development in astronomy. In S. Glynn, R. Yeany, & B. Broton (Eds.), *The psychology of learning science*. NJ: Erlbaum, 149-177.
  65. Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change [special issue]. *Learning and instruction*, 4, 45-69.
  66. Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of educational research*, 57, 51-67.
  67. Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in children, *Cognitive psychology*, 24, 535-585.
  68. Werner, H. & Kaplan, B. (1963). *Symbol formation: An organismic-developmental approach to language and the expression of thought*. New York: Wiley.
  69. White, R., T. & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
  70. Wiser, M. & Carey, S. (1983). When heat and temperature were one. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.



## 附件一

作者	年代	概念改變的特質	概念改變的程度		
			增加/減少	弱重建	強重建
Rumelhart 和 Norman	1981	增加 調整 重建	√	√	√
Posner 等人	1982	1.不滿意 - 2.可理解 → 同化或 3.合理的 調適 4.豐富的 -		√	√
Carey	1985	輕微的概念改變 強烈的概念改變		√	√
Roth	1991	1.不足夠 - 2.不完整 → 同化或 3.不一致 - 調適		√	√
Chi	1992	類別內的概念改變 類別間的概念改變		√	√
Thagard	1992	1.增加新例子 2.增加弱原則 3.增加強原則 4.增加新的部份關係 5.增加新的種類關係 6.增加新概念 7.瓦解部份種類的階層 8.藉由分枝跳躍重組階層性 9.樹的轉變	√ √ √	√ √ √ √	√ √
Vosniadou	1994	豐富 修正 特定理論 理論架構	√	√	√
Gentner 等人	1997	信念修正 理論改變 概念改變	√	√	√
Keil	1999	1.在許多向度中特質、性質或價值的改變 2.不同種類的性質和關係間使用的轉變 3.執行計算上特質的改變 4.理論上的改變 5.重要性的轉變	√	√ √	√ √(使用時)

## Reflections and Implications of Research on Conceptual Change

**Mei-Hung Chiu**

National Taiwan Normal University

88, Sec 4 Ting-Chou Road,

Taipei, Taiwan 117, ROC

[mhchiu@scc.ntnu.edu.tw](mailto:mhchiu@scc.ntnu.edu.tw)

### ABSTRACT

For decades, research in conceptual change has shown that changing students' scientific knowledge is very difficult. The interpretations of researchers in this field are quite similar. That is, it is recognized that scientific concepts are abstract, complex, and inconsistent with daily experiences. Therefore, many researchers developed various teaching strategies to promote students' learning in sciences. However, to some extent, students' concepts of some specific concepts in science (e.g., electricity, heat, diffusion, chemical equilibrium) have not been easily changed by instructional innovations (Chi, 1997). This raises some questions: Do we really understand the meaning and mechanism of conceptual change? What other factors should we consider when we implement teaching strategies for conceptual change that we did not initially take into account? In this paper, the author discusses several researchers' theories of conceptual change from different perspectives, and then compare similarities and differences between children's and scientists' conceptual change in the domain of science (e.g., Chi, 1992, 1997; Nersessian, 1989; Thagard, 1992; Vosniadou, 1994).

**Key words :** conceptual change, ontology, incompatibility hypothesis.