科學教育學刊
2003, 第十一卷第三期, 277-296

Chinese Journal of Science Education
2003, 11(3), 277-296

中小學生對於金屬之分類的迷思概念研究

許良榮
台中師院 自然科學教育系

（投稿日期：民國 91 年 10 月 12 日，修訂日期：92 年 2 月 13 日，接受日期：92 年 4 月 16 日）

摘要：本研究目的為針對中小學生發展「金屬」分類概念的雙層（two-tire）試題，以診斷學生的迷思概念。研究程序修飾 Tregaust（1988, 1995）發展二階段診斷試題的步驟，包括由初探研究的紙筆測驗，了解學生可能存有的概念之後，進行個別晤談之設計與實施。個別晤談深入探索學生可能的迷思概念，以提供雙層試題之設計基礎，雙層試題經過效化後，施測於小四（N = 246）、小六（N = 275）、國二（N = 107）以及高二（N = 151），並進行重測以建立信度。由施測結果顯示，學生對於金屬之歸類，存有不少的迷思概念，包括金屬都會被磁鐵吸引、採挖出來的礦物是金屬等等。而且語言的影響頗為明顯，有不少中學生傾向於以物質名稱是否有金字邊進行分類以及認為水銀有銀的成分。最後，本研究也討論了學生的概念具有不穩定性的特徵，在未來研究應再深入探究。

關鍵詞：分類、金屬、迷思概念、雙層試題。

壹、緒論

一、研究背景與動機

概念的形成基本上是一種分類的過程與結果（Smith 和 Medin, 1981），因為「概念」是一種象徵的建構（symbolic construction）以用來代表外界事物的共同性。換言之概念所以形成，是由於我們能夠對外界的事物進行歸類（categorization）；把相同的事物歸為一類，以便與不同類的事物在理念上分開（鄭昭明, 1993）。Rosch, Mervis, Gray, Johnson 和 Boyes（1976）指出人們在環境中會將物體加以分類，形成類別系統（category system），組織大量訊息於長期記憶中，並藉此而引導他們的推理過程。

目前科學教育的相關研究文獻中，對於學生「分類」概念的研究，有不少專注於動植物的分類（如 Trowbridge 和 Mintzes, 1988; Braund, 1991; Erik, 1995; 陳柏棻, 1993; 莊志彥, 1998），對於學生在物質科學的分類研究則相當少。但是物質的性質與辨認，以及物質之間的交互作用，是中小學科學教學中重要的課程目標之一（教育部, 1993），從協助教師了解學

生對物質分類的想法，以促進教學的角度而言，探討學生對於各類物質之化學性質的分類表現，是一個值得深入探究的問題。另一方面，由文獻顯示學生在物質的化學性質之迷思概念相當多，例如Driver和Russell（1982）研究9～14歲兒童，近三分之二的兒童，認為溶液的重量會少於糖加水的重量。Harrison和Treagust（1996）研究48位八至十年級學生對於原子、分子的觀念，發現有一半的學生認為原子可以用顯微鏡觀察。其他還有不少有關物質之化學性質的迷思概念研究，如共價鍵與結構的概念（Peterson 和 Treagust, 1989）；酸鹼概念（Nakhleh 和 Krajcik, 1994）；燃燒概念（BouJaoude, 1991）等等。由此可見有關化學性質的迷思概念相當值得科教學者、課程設計者與師資培育的注意。尤其有關「金屬」的迷思概念研究並不多，Biddulph 和 Osborne（1983）指出在我們日常生活中金屬扮演相當重要的角色，中小學也經常有相關的教學內容，因此「金屬」在中小學的科學教學中是一個很重要的主題。

二、研究目的與問題

本研究之主要目的為針對中小學生發展「金屬」分類的迷思概念之雙層試題（two-tire）評量工具，研究問題包括：

(一)中小學生對於金屬之分類有哪些迷思概念？

(二)如何發展診斷學生金屬之分類迷思概念的雙層試題評量工具？

貳、文獻探討

一、分類的重要性與發展

Smith 和 Medin（1981）指出概念的二個功能是「分類（categorization）」與「推論（inference）」，Woods（1981）也認為我們使用概念將各種事物進行分類並認明類別中各種事物之間的關係。由此可看出「分類」與「概念」有如孿生兄弟—我們將事物進行分類以形成概念，而既有的概念又會影響或協助我們對事物進行分類，因此分類可以說是一種動態的過程，在學習過程中不斷變化與成長。

對於「分類」的認知發展，Inhelder 和 Piaget（1969）對 2159 位兒童所做的研究中發現；兒童要到七、八歲以後才漸漸開始發展分類及排序的認知結構。其研究結果顯示兒童的分類表現，可大約分為三個階段：(一)第一階段（二歲至五歲半）：兒童把認為有關係的放在一起（collective objects），但沒有固定的特性以決定物體應屬於那一個集團（collection），而且知覺（perception）主導了分類的操作。亦即在進行操作時沒有一般性計劃（general plan），只是隨自己的需要把物體加以排列集合；(二)第二階段（五歲半至七歲）：兒童根據「相似性」分類，會把所有物體加以歸類，能利用物體的同一屬性（attribute），並逐漸形成階層（hierarchy）分類；(三)第三階段（七歲至十一歲）：兒童不但能作階層分類同時也瞭解階層之間的關係，但是他們只能操作真實物體的分類問題，而不能操作假說性的物體（hypothetical objects），到了形式操作期兒童才能進行假說性物體的分類。黃達三（1993）的研究發現國小學生的各類客體分類能力的發展快慢，和邏輯組合分類能力的發展快慢是有相關的，而進行分類操作活動時，晤談者所提出的問話句型會影響學生分類操作的表現。例如「請你將相同質料的東西（物體）放在一起」以及「請你將類似的東西（物體）放在一起」的不同發問，在前者的發問下學生傾向以物體的質料、顏色進行分類，在後者的發問下學生傾向以形狀、顏色作為分類標準。而且中年級學生因分類認知能力發展仍未臻於完善，所以不能以一種標準把一堆物件完全分類，而不遺

落任何物件，會中途改變標準而使用另一標準。高年級的學生在進行分類活動的心智操作時，會因情境（context）的改變，而不能堅守同一分類標準而把所有物件加以分類操作完全。這種現象在國外的研究也有同樣的情形發生，在不同的情境中學生的分類能力表現也不一樣（Phillips & Phillips, 1989）。

查驗文獻有關兒童如何對外界事物進行分類，可以發現兒童的分類標準或認知，是頗為複雜的行為。Nelson（1990）即指出分類學習是相當複雜的現象，例如兒童進行分類是一種「整體性處理（holistic processing）」？或是一種「分析性處理（analytic processing）」？Nelson（1990）主張大部分兒童的分類學習是以「整體性處理」為主，不是針對事物之屬性的「分析性處理」。但是 Ward（1990）並不完全同意 Nelson（1990）的觀點，而認為以「分析性處理」的觀點較容易解釋兒童以知覺感官獲得的資訊去做分類決定。不論分類過程是整體性處理或是分析性處理，二位學者共同的觀點是；有關分類學習是一種複雜的現象與過程。

二、分類之迷思概念的相關研究

在有關分類的迷思概念研究，文獻中有許多學者專注於學生對於動植物之分類的表現。例如 Natadze（1963）的研究發現蘇俄 7 到 14 歲兒童把蝙蝠當成鳥類，海豚當作魚類。而 Voelker（1972）的研究發現小學六年級學生對於哺乳類動物、魚類等脊椎動物的概念較為清楚，對於無脊椎動物則較不清楚。Braund（1991）研究 12 到 16 歲學生對於動物的分類概念，結果發現學生的年齡、性別等與其分類概念有關，例如 12、14 歲女生表現比男生好，但是 16 歲則男生比女生好。Trowbridge 和 Mintzes（1988）研究小學五年級到大學學生對動物的分類概念，發現小學五年級兒童對動物的分類有不少的迷思概念，如認為水母（68％）、海盤車（69％）、鯨魚（54％）、螃蟹（20％）等等是魚類。認為烏龜（52％）、蛇（45 ％）等等是兩棲動物。另一方面；小學生經常以腳的數目、體毛、棲息地等屬性歸類各種動物，而大學生則傾向於使用科學上定義的屬性做分類。

國內學者對於學生的動植物分類概念，也有不少類似的研究。例如陳伯棻（1993）的研究發現有三分之一職前生物教師將穿山甲歸為爬蟲類，五分之一職前生物教師將彈塗魚歸為兩生類、將娃娃魚歸為魚類。黃達三（1994）研究 72 名一至六年級學生對於動物分類的概念，結果發現學生對於動植物的概念知識相當有限與粗淺，仍然會以「能否自由移動」作為動、植物之分類的標準。邱美虹、侯政宏和唐國詩（1997）研究 10 位高一學生岩石分類之表現（高成就組和低成就組各 5 人），研究結果發現高成就組學生擁有較豐富的岩石知識，但是不一定保證他們能實際辨認出岩石標本。高成就組能主動依照與成因相關的外觀標準，將岩石分成三大類。而低成就組以非成因的外觀標準為分類的依據。高成就組在分類時，較能採用一致的標準進行分類，但是低成就組則在一次分類中常有多項標準。

三、學生對金屬迷思概念之相關研究

國內外文獻對於金屬之概念的相關研究並不多，不過已有某些研究指出學生對於金屬具有值得注意的迷思概念，Biddulph 和 Osborne（1983）以晤談研究 38 位九、十年級學生對於金屬的觀念，研究顯示學生對於何謂金屬所持的理由相當多樣性，例如重量、光澤顏色、軟硬程度、磁性等等，有 40 %學生認為金屬可以被磁鐵吸引，有 55 %學生認為奶粉罐子上的鋁片因為可以彎曲所以不是金屬，顯示學生對於金屬的特性具有迷思概念。de Posada（1997）以開放性問題探討高中學生（10～12

年級）對於金屬內在結構的概念，研究結果顯示十年級學生有 37 %持有非連續觀點（缺乏原子分子之粒子概念），11、12 年級則降至 5 % 以下。而持有非連續（粒子）觀點的學生也未必能恰當地解釋金屬結構。此外，Coll 和 Treagust（2000）以半結構（semistructure）訪談高三、大學、研究所各 8 位的學生對金屬鍵的心智模式（mental model），研究結果發現高中生對金屬晶格結構感到困擾，而大學生及研究生則會畫圖甚至會加以說明晶格結構，但是雖然大學及研究所學生比高中生提供較多有關於金屬本質 —晶格結構意義，但仍然無法完整的將合金架構及其結構做解釋。在對銅線延展性的解釋方面；高中生提出許多擠壓 壓扁、壓碎削平的觀點解釋此事件，其他如延展性（malleabilities）的大小、外形的變化，高中生並不清楚，大學生能提出利用電子海的理論進行解釋，研究生則提出因為作用力並沒有明顯的方向性，並把銅線想成六方最密堆積（hexagonal-close）的結構。Coll 和 Treagust 指出，學習者雖無法提供具探究性的心智模式解釋金屬物質的導電性（conductivity）及延展性，但學習者的心智模式具有獨特性，是根據自己的發現做總結的。

由上述的文獻可以發現對於學生的「分類」概念研究，大多集中於生物科學，對於物質科學的分類概念研究比較少見，可是在物理、化學領域的相關研究常發現學生有不少的迷思概念，因此探究針對中小學生「金屬」的分類之迷思概念應有其急切性與需要性。

、研究方法與設計

一、研究方法與程序

本研究參考 Tregaust（1988, 1995）發展二階段診斷試題的程序（如圖 1 所示），首先建立有關「金屬」的概念圖以及命題陳述，並交由本研究之總計畫（國科會專案研究）召集的化學概念研究小組審閱以及討論，確定研究範圍之後，進行包括封閉式與開放式紙筆測驗的初探研究，該測驗的目的是做為個別晤談之前導作業，以決定晤談方向以及晤談事例（物質）之參考。個別晤談深入探究並歸納學生可能具有的迷思概念之後，再進行雙層試題的設計。雙層試題初稿除了委由六位化學專家學者（皆於大學任教化學）審閱之外，初次修訂後再委請三位學者（一位化學博士，二位化學背景科學教育博士）進行審閱試題的恰當性。經過再次的修訂後進行前測—後測，以查驗重測信度，並分析前測資料中，學生所呈現的迷思概念。

二、研究樣本

本研究在各研究階段之抽樣人數如表 1 所示，初探研究以方便取樣方式選取小四、小六、國二、高二各 2 班，個別晤談除了高二為十二人以外，各年級為十人，雙層試題的施測小學各抽取八班，中學各抽取六班。以上各階段沒有重複抽樣，全抽取自台中縣市中小學的城市型學校。本研究屬於方便取樣方式，在嚴格的實施過程中，深入瞭解學生的觀點以及多重比對的歷程後，研究結果應能有效表徵學生的概念。

三、研究工具

(一)初探紙筆測驗

初探研究的施測主要目的在決定晤談事例（物質），以決定晤談時用那些物質讓學生進行分類，並做為設計晤談大綱之問題的參考。初探研究的工具為半開放式測驗，包含了參考自課程教材及日常生活常見的 15 項物質，除了要求學生對這些物質進行「金屬或非金屬」之分類填答，並請學生在開放性問題填答其分類的理由。

(二)晤談

個別晤談的事例（物質）之決定除了初探

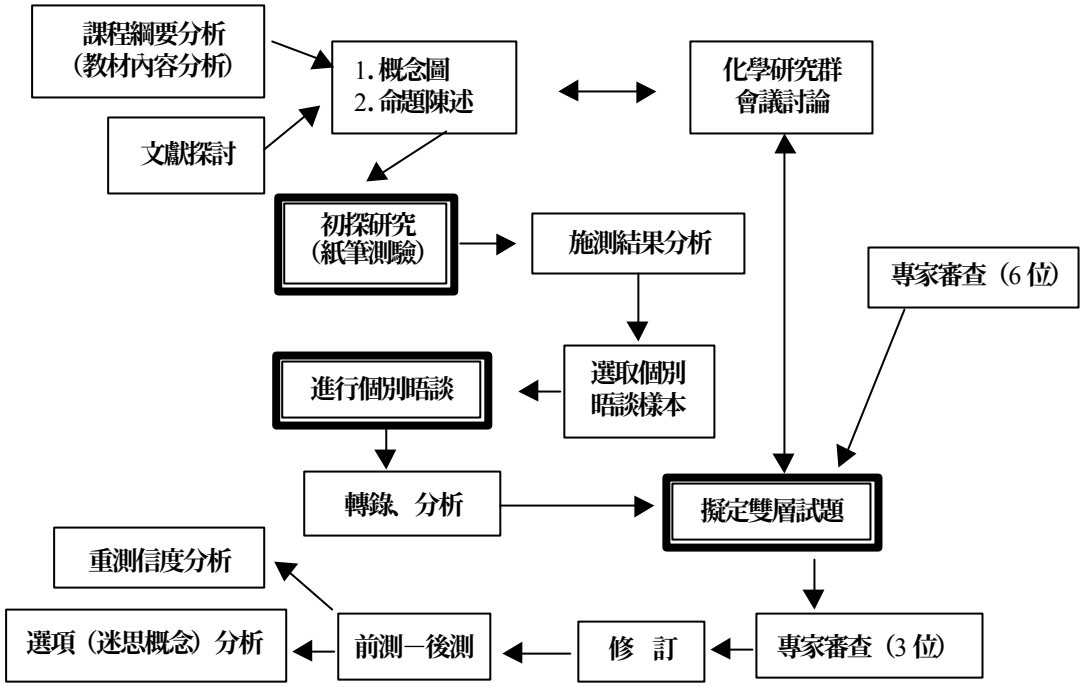

圖 1：研究程序

表 1：各研究階段的樣本抽樣人數

	小 四	小 六	國 二	高 二
初探研究	66（二班）	75（二班）	74（二班）	93（二班）
個別晤談	10 位	10 位	10 位	12 位
雙層試題施測	246（八班）	275（八班）	207（六班）	251（六班）

紙筆測驗的結果之外，並參考各年級之課程，例如丙酮、乙醚等在小學課程沒有出現過，因此排除於小學生的晤談範圍。晤談時事先準備物質名稱的字卡以及實物（分別各十五項物品），讓學生進行「金屬與非金屬」的分類。晤談過程為先以「字卡」進行金屬與非金屬的分類，分類後請學生說明其判斷的依據或理由，其次再以「實際物質」讓受試者分類，並繼續探求學生的想法與概念。晤談以半結構方式進行，主要的問題包括；你認為這些物體中哪些是金屬？為什麼？你認為怎樣才算金屬？可以用什麼方式判斷物體是否為金屬？等等。

(三)雙層（two-tier）試題

經由前述之研究過程所蒐集之資料，最後建立雙層試題初稿。試題的設計依據以下原則進行：

1. 各題之選項必須具有含攝性，亦即能包含學生可能具有的各項迷思概念。
2. 每個選項能夠且只表徵一項特定的迷思概念。
3. 每個選項要能具有區別性，避免概念上的重疊性。

4. 配合不同年級對語詞的了解，不同年級(年段）之試題使用的語詞或選項有所差別。
5. 每題只能有一所謂的正確答案，以免有恰當概念的學生無所適從。
6. 設計時，持續與初探紙筆測驗、個別晤談分析結果交叉比對。

依據上述原則所發展的有關「金屬」的歸類試題共計四題，分別是鑽石、水銀、鋁以及碳棒的歸類，其中碳棒只施測於中學(國二、高二)。選擇此四項物質的主要依據是；初探研究中學生對於鑽石、水銀、碳棒的答對率較低，而選擇鋁為試題是因為屬於較為典型的金屬之一，可探索學生對典型的金屬是否有迷思概念。

四、效度與信度

(一)效度

由於本研究發展之評量工具的目的是診斷學生可能具有的迷思概念類型，既不是成就測驗，也不是常模參照或標準參照測驗，因此沒有進行試題的鑑別度與難度之分析。雖然某些研究（例如 Tan, Goh, Chia 和 Treagust, 2002; 蔡智文和周進洋, 2001）發展雙層試題時分析了鑑別度與難度，但是以鑑別度與難度的資料決定試題的優劣，在迷思概念（或另有概念）的研究可能並不恰當，因為就算試題的難度指數差，除了可能是試題設計不良以外，也可能是學生普遍具有迷思概念，因此通過率低。而鑑別度差，除了可能學生普遍具有迷思概念以外，也可能是高成就學生與低成就學生有不同的迷思概念。

本研究發展雙層試題時程超過一年，期間經過化學研究群會議討論、學科專家審查並經過反覆多次的修訂，所發展的評量工具應具有某種程度的效度。

(二)信度

本研究的信度之查驗，採用重測（test-retest）信度的方法。本研究的前測與後測相隔 2 ~ 4 週，施測時間為民國 90 年 12 月中旬至 91 年 1 月中旬。預試回收後剔除選答過於規律、空白超過一半的無效問卷之後，將資料輸入電腦，以 SPSS 統計軟體進行資料分析。

文獻中有些學者在發展雙層試題時曾採用內部一致性α做為信度係數，例如 Tan 等人（2002）發展雙層試題時估算其工具的 Cronbach α為 .68，該研究引用 Ross 和 Munby（1991）的觀點認為信度係數比較低是標準參照測驗的本質，意即雙層試題是一種標準參照測驗。本研究並不同意此種觀點，因為常模參照的成就測驗關心的是如何編製測驗以使測驗成績可以代表學習者的成就。標準參照的成就測驗關心的是學習者是否達到預定的學習目標（例如答對率 85 %的精熟程度)。二者在信度的考量都可以用試題的「答對百分比（或通過率)」做為試題穩定性的標準，信度的意義即為相同能力學生在某一試題的表現（答對率）是否一致？越一致代表試題越穩定可靠。例如某一試題高分組的答對率較高，低分組答對率較低；或者相同能力（成績）的受試者答對的題號一樣，都可用以代表高的信度，但是這種信度代表的是「試題做為區分受試者能力或答對、答錯的穩定性」，而不是受試者選答試題之選項的穩定性或一致性。換言之，在診斷性測驗我們關心的不應只是受試者的答對或答錯，而應關心受試者是否穩定一致的選答某些選項。在此原則下，重測方法應是估計雙層試題之信度比較恰當的方法。

重測方法一般以「相關」做為估計信度的依據，如前所述，本研究不以答對、答錯或分數高低查驗試題的穩定性，而是將受試者的選答以名義變數方式處理（例如第一層選 1，第二層選 3，則以「13」編碼)，查驗受試者在前測、後測的選答是否穩定一致（即選答相同選項)，並採用列聯係數（contingency coe-

fficient）查驗學生在前測、後測之選答的關連性（association）。

前測、後測選答一致的百分比以及列聯係數分析結果如表 2 所示。年級越高，選答有越穩定的傾向，小四在前測、後測選答一致的人數約在三成多（平均 35.7 %），到高二則接近六成（平均 58.0 %）。而每一年級在每一題的列聯係數皆達到顯著相關水準（P < .01），顯示學生在前測、後測的選答頗為一致。

肆、結果與討論

一、初探研究結果

對於物質是否為金屬之分類，在 15 項的物質當中，對於銅、鐵、黃金等典型的金屬，學生的答對率都頗高，除了小四對於「鐵釘」的答對率為 78.8 %以及小六對於「黃金」答對率為 82.7 %之外；其餘都在 88.0 %以上，顯示學生對於這些典型的物質能夠歸為金屬一類。但是將鑽石歸類為金屬的小四到高二分別為 56.1 %、29.3 %、12.2 %、23.7 %；將水銀歸類為非金屬的小四到高二分別有 18.2 %、56.0%、14.9 %、9.7%，由開放性問題學生所填寫的理由之歸納（如表 3），發現每一年級所填寫的理由並不完全相同。例如小四學生以「金屬光澤」（18.2 %）為歸類依據的人次為最多，小六學生以「可導電」（22.7 %）、「會生鏽」（21.3 %）為最多，國二以物質名稱「有'金'字邊」（45.5 %）為最多，「可導電」（19.8%）、「金屬光澤」（10.9 %）也不少。高二學生以「可導電」（49.5 %）為最多，其次為「有'金'字邊」（35.5 %）、「具延展性」（31.2 %），顯示年齡層次越高，對於「金屬」之分類理由越趨向於多樣性，而小學生以外在特徵（例如重重的、硬硬的、會生銹）做為歸類依據，相對於中學生而言比較多。雖然樣本並未經嚴格抽樣程序，但是已經透露了學生的可能想法，也提供了晤談設計的基本方向以及雙層試題的參考依據。

二、晤談結果分析

(一)歸類依據的不穩定性

經過深入晤談學生對金屬歸類的可能想法之後，晤談結果的歸納整理如表 4 所示，分析結果顯示學生大多能注意到金屬具有導電、光澤、具延展性等等的性質，與初探研究結果頗為吻合，但是也透露了更多學生可能的想法或是判斷依據。分析結果顯示學生對於何謂「金屬」的概念具有多樣性以及不穩定性。在這些多樣的判斷依據中，學生未必能夠清楚區分哪些性質為金屬所特有，哪些是非金屬也具有的性質？例如代號 1008（前 2 碼為年級，後 2 碼為流水號）的學生首先由導電性判斷碳棒為金屬，隨後由延展性轉而認為碳棒為非金屬，顯示了學生的概念之不穩定性。

研究者：....那你覺得你為什麼把這邊的分成是金屬（註：包括碳棒），而這邊又是非金屬？

1008：嗯..我是想就是銅嘛，我是以導電來判別。

……（略）

研究者：你為什麼突然改它（碳棒）不是金屬？你說說看。

1008：金屬的話..金屬大部分都具有延展性。

研究者：有延展性？

1008：他們..那可是碳棒的話，如果一敲下去它就已經就沒有延展性了。

研究者：就碎掉？

1008：嗯，所以它應該不是金屬。

研究者：所以你把碳棒歸類到...

1008：非金屬。

學生概念的不穩定性一方面可能由於對金屬的概念不是很清楚，因此在不明確中隨時可能更動歸類依據，另一方面也可能由於邏輯推理能力不夠成熟，沒有分清楚金屬之歸類判

表 2：雙層試題前後測選答一致百分比與列聯係數（C）分析表

試 題	小四（N＝246）		小六（N＝275）		國二（N＝207）		高二（N＝251）	
	%	C	%	C	%	C	%	C
1.你認為鑽石是不是金屬？	35.7%	.605**	41.7%	.689**	41.4%	.674**	56.6%	.755**
2.你認為汞是不是金屬？	32.1%	.650**	35.2%	.618**	42.5%	.611**	53.1%	.746**
3.你認為碳棒是不是金屬？	–		–		48.2%	.624**	63.3%	.451**
4.你認為鋁是不是金屬？	39.3%	.592**	45.7%	.730**	50.0%	.681**	59.1%	.725**

**P< .01 （註：國小沒有包含第 3 題）

表 3：初探研究-學生歸類金屬之理由

理 由	小四（N＝66）	小六（N＝75）	國二（N＝74）	高二（N＝93）
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
有金屬光澤	12（18.2）	5（6.7）	11（10.9）	17（18.3）
可導電	5（7.6）	17（22.7）	20（19.8）	46（49.5）
鐵做的	6（9.1）	2（2.7）	5（4.9）	–
硬硬的	6（9.1）	3（4.0）	–	6（6.5）
會生銹	4（6.1）	16（21.3）	–	–
被磁鐵吸引	2（3.0）	2（2.7）	–	–
有「金」字邊	–	–	46（45.5）	33（35.5）
具延展性	–	–	8（7.9）	29（31.2）
會導熱	–	–	6（5.9）	8（8.6）
熔點高低				4（4.3）
其他	–	–	6（5.9）	14（15.1）

準只有必要條件，而沒有充分條件。例如導電、容易導熱、具光澤等等，屬於金屬的必要條件，而熔點高、固體、硬度高、名稱有金字部、被磁鐵吸引等等，既不是金屬的必要條件也不是充分條件，只是部分金屬具有的特性。在晤談過程常出現受訪者先直覺地提出個人的分類依據，例如會導電或固體等等，隨後在深入的晤談又陸續提出各種不同的分類依據。例如受訪者 0806 先提出以物質名稱判斷，接著又提出以會不會被磁鐵吸引判斷，但是又表示與磁鐵吸引不一定就是金屬。而受訪著 0805 先由字卡的分類指出其判斷依據是導電（也因此將碳棒、鑽石歸為金屬），在實物的分類還是將鑽石歸為金屬，但是其主要的歸類依據改變為摸起來比較冰冷、容易傳熱。

研究者：你剛剛說你可以從名稱、成分判斷是不是金屬，那你還可以從哪裡判斷？

0806：**看它會不會被磁鐵吸住。**

研究者：你認為只要被磁鐵吸住的都是金屬嗎？

0806：**不一定吧！**

研究者：（字卡分類）…..好，你認為水銀、鑽石、水晶、銅、鋁箔紙、黃金、不鏽鋼和碳棒，這些是金屬，然後你認為另外這三樣不是金屬，你

為什麼這樣認為呢？

0805：因為．我好像記得碳它是可以導電，那鑽石和碳棒是屬於碳的，那其它這些都是金屬，可以導電的．．，那斑斑和壓克力板．．壓克力板是塑膠嘛．．，它們是不可以導電的，那我就把它們分成這二類。

研究者：好，所以你的分類依據是導電，可以導電是金屬，不可以導電是非金屬？

0805：對。

．．．．．．．．．．（略）

研究者：（實物分類）．．．．好，你認為這個黃金鎖片、鋁箔紙、黃金、鐵釘和這個不鏽鋼的．．還有這個鑽石是金屬．．．．，那你的分類依據是什麼？

0805：就是．．鐵．．它．．現在它．．一般來說，我們杯子都用作鐵嘛，那我們會講它感覺比較冰冷，就是它導熱比較快，那我認為它是金屬類的。

有關學生在分類時會改變歸類依據，文獻中也有類似的發現，例如 Krascum 和 Andrews（1993）研究學前兒童學習分類的情形，研究結果指出兒童很少以特定的屬性規則作為分類的標準。黃達三（1993）的研究發現國小中年級學生因分類認知能力發展仍未臻於完善，所以不能以一種標準把一堆物件完全分類，會中途改變標準而使用另一標準，高年級的學生則會因情境（context）的改變，而不能堅守同一分類標準。

(二)歸類依據具多樣性，分類結果具差異性

由個別晤談發現某些初探研究未呈現的結果，例如低年級學生會以「地底採挖出來的礦物」、「金屬敲起來（掉落地上）有清脆的聲音」做為判斷金屬的依據。但是這些判斷依據在不同的學生卻可能有不同的觀點。例如0403學生認為地底採挖出來的礦物就是金屬，但是0603 學生反而認為地底採挖出來的礦物主要是非金屬。

0403：那大（概）．．應該都是從地底下採礦出來的是（金屬）。

研究者：．．．．．從地底下可以採礦出來就是金屬？你有這種想法是從哪裡知道？

0403：自己判斷的，因為鐵釘它是鐵，鐵也是從地底下採礦出來的，所以我想只要大概是從地底下採礦出來的東西應該都屬於金屬的，都有金屬的成分。

研究者：．．．．．鑽石的時候你有什麼特徵？．．．你為什麼（認為）它是非金屬？．．．．．

0603：鑽石大概因為他是礦產吧？

研究者：是礦產？只要礦產的就是．．．．．你認為只要礦產的就是非金屬？

0603：不一定啊，就是．．．．．（停頓）

研究者：還是．．還是你認為鑽石是礦產嘛。那礦產的主要的是它是非金屬的原因嗎？

0603：嗯，我猜。

相同歸類依據而有不同歸類結果的情形也發生在「金屬敲起來（掉落地上）有清脆的聲音」是否為金屬的特徵，0609 學生認為非金屬敲起來比較響亮，而學生 0809 認為金屬敲起來比較清脆。

0609：敲一敲，打一打．．．，這個聲音感覺比較沒有那麼響亮，這個比較感覺響亮。

研究者：非金屬的比較響亮？

0609：嗯．．．

研究者：金屬的比較沒有那麼響亮？

0609：就是像那種沒有實心的感覺。

研究者：所以你認為金屬是有一些特別的聲音？

0809：嗯。

．．．．．．．（略）

研究者：好！你說它有一些特別的聲音，是哪方面的聲音？

0809：就是敲起來會比一些塑膠類品的東西，有一些清脆的聲音。

由上述晤談對話的例子以及表 4 的歸納，

顯示學生對物質是否為金屬的觀點是多向度的，不同的判斷依據並非彼此獨立或具有互斥性，有可能並存於學生的認知結構中，例如以物質能否導電做為判斷依據而言，甲學生可能直接將碳棒歸類為金屬，而乙學生可能考慮碳棒延展性差的屬性，而有不同的歸類。因此不同的歸類依據被引發（activation）的優先順序可能受到客體或情境之影響，而由於金屬為一種交集概念（conjunctive concept），是由一組的屬性共同界定的概念，因此各項歸類依據並未具有絕對性的對錯之分，例如會導電、有延展性未必就是金屬，因此不同的學生雖然可能有相似的歸類依據，但是可能有不同的判斷結果。

(三)不同年級的差異

不同年級學生的分類依據有某些值得注意的差異，有接近一半的受訪小學生認為金屬都是固體，以及金屬是鐵製的東西。例如學生0604知道碳棒會導電，因而認為碳棒是金屬，但是又認為碳棒會導電是因為含有鐵的成分，如果把鐵的成分移除，碳棒就不會導電了。

研究者：為什麼它（水銀）是非金屬？

0606：**因為它不是金屬類的，而是一種液體。**

研究者：你覺得金屬裡面沒有液體狀的？

0606：**沒有。**

0604：**因為我看過碳棒它是可以導電的，而且它裡面的成分中有含鐵的成分。**

研究者：有含鐵的成分喔？……你是覺得它裡面含有鐵的成分，所以它才會導電是不是？還是說它因為本身碳棒就會導電？

0604：**我是認為說它裡面有加鐵的成分，它才會導電。**

研究者：喔……如果說它（碳棒）鐵的成分把它去除掉，它就不會有導電的現象？

0604：**對。**

與初探研究結果相似的還有小學生傾向於認為金屬會被磁鐵所吸引。

研究者：金屬它有什麼特徵？

0607：**金屬它會和磁鐵相吸。**

研究者：如果不會和磁鐵相吸的，它就不是金屬？

0607：**不能這麼講，因為如果那個磁鐵沒有磁性啊。**

研究者：喔，假設那個磁鐵有磁性，所以你是不是要能被磁鐵吸住的那個就是金屬？

0607：**嗯。**

研究者：不能被磁鐵吸住的就不是金屬？

0607：**對吧。**

相對於小學與國二學生，有不少受訪的高二學生提出了物質屬性（尤其是物理屬性）之外的歸類依據，例如在週期表的位置、氧化物的酸鹼性、電子的得失（空軌域）等等。此現象是否由於學校的教學結果，有待未來研究進一步的確認。

研究者：一般來講您看看，它除了有金屬光澤還有沒有別的？

1007：**嗯……像它在週期表的位置。**

研究者：嗯……

1007：**週期表的位置上它在比較……**

研究者：1A 族這邊？

1007：**1A 族這邊，然後或者是在另外一個右邊，右邊的可能是非金屬。**

研究者：裡面還有空的位置（軌域）？那你覺得非金屬呢？

1003：**非金屬也是有，不過它的空位比較少。**

研究者：空位比較少？。意思是造成這兩個性質上的差異是因為它外層空位的……？

1003：**應該這樣講，就是那個金屬跟非金屬的界定就是，它有一個電子可以會被……電子它的……**

研究者：外層電子？

1003：**對，外層電子。如果外層電子被束縛住，它就是非金屬，如果外層電子沒有被束縛住，它可以自由移動，它就是金屬。**

表 4：晤談結果分析以及試題檢核表

判斷依據	小四	小六	國二	高二	雙層試題題號
金屬能導電	5	4	6	11	一、二、三、四
金屬比較硬、不易破	6	6	2	5	一、四
金屬亮亮的或有特殊顏色	5	3	8	10	一、二、三
金屬延展性佳	2	2	6	7	三
金屬都有金字邊	1	2	5	3	二、四
金屬可以被磁鐵吸引	4	1	2	–	一、二、四
金屬是鐵的東西（含鐵的成分）	4	5	–	–	四
金屬是地底下採挖出來的礦物	3	4	–	–	一
金屬都是固體	3	2	–	–	二、三
金屬熔點、沸點高	–	2	4	4	–
金屬密度大（比較重）	–	2	6	2	三、四
金屬的傳熱快	1	–	6	–	二
金屬會生鏽	1	3	1	2	三
金屬敲起來（掉落地上）有清脆的聲音	4	–	1	–	一、四
金屬都在週期表的左邊（IA、IIA 族）	–	–	–	7	二、四
金屬氧化物的水溶液為鹼性	–	–	–	7	四
金屬氧化物的水溶液為酸性	–	–	–	4	四
金屬外層電子數少，容易失去電子	–	–	–	5	三
日常生活經驗/ 學校學習	–	1	3	2	四
其他	2	3	4	4	–

註：個別晤談人數小四 ~ 國二皆為 10 人，高二 12 人

三、雙層試題施測結果分析

雙層試題總計設計了四題，題目的選項設計主要是依據晤談分析結果，因此每一項晤談結果都有試題選項（參閱表 4），除了「金屬熔點、沸點高」一項因為已經有意義接近的選項–「金屬是固體」，因此沒有再設計特定的選項。

整體而言，雙層試題施測結果各年級之答對率如表 5 所示（以下討論的資料都只包括前測的作答結果）。由表 5 顯示各題的答對率有隨著年級而增加的傾向，中學生在第一層的答對率都有接近七成以上，而小學生在水銀、鋁的第一層答對率只有四成左右。第二層的答對率除了高二在前三題超過一半以外，其他各年級在第二層的答對率都低於 50 %，尤其水銀是否為金屬的問題，到了國二也只有 11.7 % 的答對率，顯示有不少學生在金屬性質方面具有迷思概念。

值得注意的是，中學生在第一層與第二層的答對率相差頗多，例如在國二學生在汞是否為金屬的問題，第一層答對率為 74.3 %，第二層則只有 11.7 %；在碳棒是否為金屬的問題，第一層答對率為 78.4 %，第二層只有 16.4 %，這

表 5：各年級雙層試題之答對率

	小 四		小 六		國 二		高 二	
	第一層	第二層	第一層	第二層	第一層	第二層	第一層	第二層
1. 鑽石是否為金屬？	69.8	34.9	76.2	37.9	65.8	43.5	81.2	55.7
2.[a] 汞是否為金屬？	35.4	5.2	43.0	8.7	74.3	11.7	88.3	58.7
3.[b] 碳棒是否為金屬？	-	-	-	-	78.4	16.4	87.8	71.5
4. 鋁是否為金屬？	44.8	25.5	35.3	22.0	75.7	41.6	95.1	43.6

註 a：小學以「水銀」命題，不是汞
b：第 3 題只施測於中學

表 6：雙層試題「鑽石是否為金屬？」各選項選答分佈

選 項		小 四 N (%)	小 六 N (%)	國 二 N (%)	高 二 N (%)
(a) 是	1. 因為鑽石硬度大（很硬）[註1]	3 (1.2)	5 (1.8)	5 (2.3)	2 (.8)
	2. 因為鑽石會導電	1 (.4)	2 (.7)	3 (1.4)	5 (1.9)
	3. 因為鑽石具有金屬光澤（看起來亮亮的）[註1]	19 (7.5)	8 (2.9)	4 (1.9)	3 (1.1)
	4. 因為鑽石是採挖出來的礦物	47 (18.7)	46 (16.6)	28 (13.1)	6 (2.3)
(b) 不是	1. 因為鑽石敲起來沒有清脆的聲音	8 (3.2)	5 (1.8)	7 (3.3)	6 (2.3)
	2. 因為鑽石是透明的	18 (7.1)	28 (10.1)	12 (5.6)	18 (6.8)
	3. 因為鑽石不會被磁鐵吸引	62 (24.6)	73 (26.4)	50 (23.4)	46 (17.4)
	4. 因為金屬會導電，鑽石不會	88 (34.9)	105 (37.9)	93 (43.5)	147 (55.7)
(c) 其他		1 (.4)	3 (1.1)	7 (3.3)	26 (9.8)
未填答		5 (.8)	2 (.7)	5 (2.3)	5 (1.9)

註 1：() 內表示小學試卷用語。

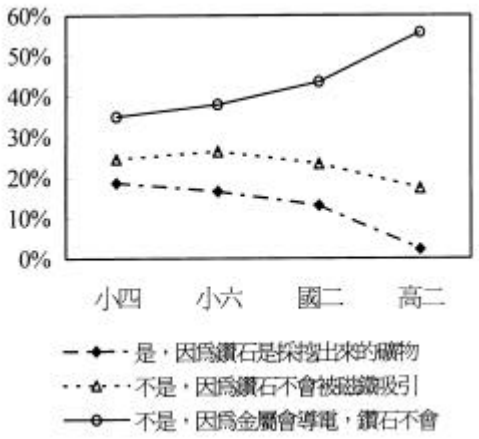

圖 2：各年級對於鑽石之歸類分佈圖

二題國二學生在第一層答對，而第二層答錯的都已達到六成，落差相當大。類似情形是高二學生在鋁是否為金屬的問題，第一層答對率達 95.1 %，但是第二層只有 43.6 %，相差了 51.5 %。小學生在第一層以及第二層的答對率差異，相對而言則比較低，最多也只有相差 34.9%（小四的第一題）。

(一)鑽石是否為金屬之選答分析

鑽石是否為金屬之選答分析結果如表 6、圖 2 所示，表 6 為選項之選答人數及百分比，圖 2 為各年級大於 10 %人數之選答變化（以下三題圖表相同）。認為鑽石是金屬的學生由

表 7：雙層試題「汞（水銀）是否為金屬？」各選項選答分佈

選　項		小四 N (%)	小六 N (%)	國二 N (%)	高二 N (%)
(a) 是	1. 因為看起來亮亮的就是金屬	7 (2.8)	3 (1.1)	3 (1.4)	6 (2.3)
	2. 因為汞（水銀）[註1] 有「銀」的成分	33 (13.1)	30 (10.8)	104 (48.6)	28 (10.6)
	3. 因為汞（水銀）[註1] 會導電	13 (5.2)	24 (8.7)	25 (11.7)	155 (58.7)
	4. 因為容易導熱的就是金屬，而汞（水銀）[註1] 容易傳熱	36 (14.3)	62 (22.4)	27 (12.6)	44 (16.7)
(b) 不是	1. 因為汞（水銀）[註1] 有水的成分	30 (11.9)	23 (8.3)	12 (5.6)	0
	2. 因為汞（水銀）[註1] 不能被磁鐵吸引	34 (13.5)	42 (15.2)	6 (2.8)	2 (.8)
	3. 因為金屬是固體，而汞（水銀）[註1] 是液體	95 (37.7)	92 (33.2)	17 (7.9)	3 (1.1)
	4. 因為「汞」（水銀）[註1] 沒有「金」字邊	1 (.4)	0	12 (5.6)	2 (.8)
	5. 因為金屬在週期表左邊，而汞（水銀）[註1] 的位置在週期表偏右邊的位置[註2]	–	–	–	11 (4.2)
(c) 其他		0	1 (.4)	6 (2.8)	11 (4.2)
未填答		3 (1.2)	0	2 (.9)	2 (.8)

註 1：（）內表示小學試卷用語。　註 2：表示僅為高中試卷有的選項。

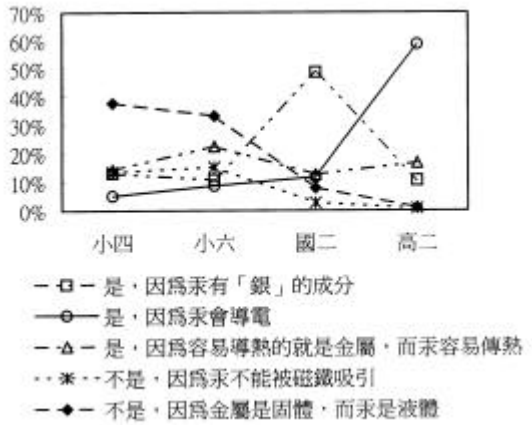

圖 3：各年級對於汞（水銀）之歸類分佈圖

小四到高二分別為 27.8 %，22.0 %，18.7 %，6.1 %，顯示年級越低認為鑽石是金屬的人數越多。不過各年級雖然至少有七成以上學生認為鑽石不是金屬，但是歸類理由的答對率超過一半的只有高二學生（小四到高二分別為 34.9%、37.9%、43.5%、55.7%），而認為鑽石不是金屬的學生中以勾選「因為鑽石不會被磁鐵吸引」的為最多，都在 17.4 %以上。而在小學與國二學生有 13.1 %以上的學生具有「鑽石是採挖出來的礦物」因而認為鑽石是金屬的迷思概念。

(二)汞（水銀）是否為金屬之選答分析

汞（水銀）是否為金屬之選答分析如表 7、圖 3 所示。本題在小學以「水銀」命題，中學以「汞」命題。施測結果發現小四總計有 63.5 %、小六有 56.7 %認為水銀不是金屬，其理由以「因為金屬是固體，而水銀是液體」為最多（小四 37.7 %；小六 33.2 %）；其次為「因為水銀不能被磁鐵吸引」（小四 13.5 %；小六 15.2 %）。而中學生認為汞是金屬的人數比小學多，國二總計有 74.3 %、高二有 88.3 %認為汞是金屬，但是其所持理由在國二達近半成（48.6 %）、高二則有 10.6 %的學生認為是「因為汞有『銀』的成分」；此結果顯示了語言對於概念之影響的重要性，不少小學生以水

表 8：雙層試題「碳棒是否為金屬？」各選項選答分佈

選　項		國 二 N (%)	高 二 N (%)
(a) 是	1. 因為碳棒是固體	0	2 (.8)
	2. 因為碳棒會導電	23 (10.7)	18 (6.8)
	3. 因為碳棒密度高	13 (6.1)	0
	4. 碳原子有空軌域[註1]	–	0
(b) 不是	1. 因為碳棒是黑色的，沒有光澤	26 (12.1)	28 (10.6)
	2. 因為金屬都會生鏽，碳棒不會	106 (49.5)	15 (5.7)
	3. 因為碳棒延展性差	35 (16.4)	189 (71.6)
(c) 其他		5 (2.3)	9 (3.4)
未填答		5 (2.3)	3 (1.2)

註 1：表示僅為高中試卷有的選項。

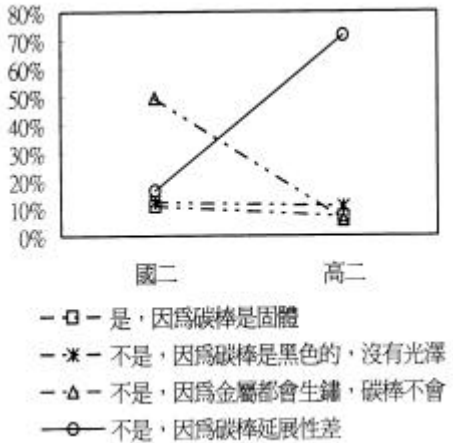

圖 4：中學生對於碳棒之歸類分佈圖

銀是液體而認為是非金屬，不少中學生誤認汞（水銀）含有「銀」的成分歸類汞是金屬 Gilbert, Osborne 和 Fensham（1982）；Nakhleh（1992）即指出日常語言是學生另有概念重要的潛在來源之一。另一方面；邏輯推理也可能是學生歸類金屬的問題之一，例如容易導熱只是金屬的必要條件之一，並非是金屬的充要條件，但是小四到高二分別有 14.3 %、22.4 %、12.6 %、16.7 %認為水銀（汞）是金屬的理由是「容易導熱的就是金屬，而水銀（汞）容易導熱」。

(三)碳棒是否為金屬之選答分析

碳棒是否為金屬之選答分析如表 8、圖 4 所示。由於「碳棒」一詞對小學生可能較為陌生，因此本題只施測於中學部分。施測結果顯示約九成的國二、高二學生認為碳棒為非金屬，但是能正確以延展性差判斷碳棒為非金屬的，國二只有 16.4 %，高二則達到 70.6 %。在其他的理由中，國二學生有近半成（49.5 %）、高中則只有 5.7 %學生認為「因為金屬都會生銹，碳棒不會」。而國二有 12.1 %、高二有 10.6 %認為「因為碳棒是黑色的，沒有光澤」。另一方面，國二有 10.7 %認為因為碳棒會導電所以是金屬，高二則只有 6.8 %。

(四)鋁是否為金屬之選答分析

鋁是否為金屬之選答分析如表 9、圖 5 所示。由圖 5 可看出小四、小六之間有頗為類似的傾向；而國二、高二之間另有類似的傾向。由小四到高二認為「鋁」是金屬的分別總計有 44.4 %、35.6 %、75.7 %、95.1 %，而學生所持的理由，其中認為「因為名稱有『金』

表 9：雙層試題「鋁是否為金屬？」各選項選答分佈

選	項	小四 N (%)	小六 N (%)	國二 N (%)	高二 N (%)
(a) 是	1. 因為名稱有「金」字邊的就是金屬	19 (7.5)	9 (3.2)	55 (25.7)	82 (31.1)
	2. 因為鋁會導電	63 (25.0)	61 (22.0)	89 (41.6)	115 (43.6)
	3. 因為摔在地上有清脆聲音的就是金屬	30 (11.9)	28 (10.1)	18 (8.4)	4 (1.5)
	4. 因為鋁的氧化物是酸性。[註1]	–	–	–	50 (18.9)
(b) 不是	1. 因為鋁比較輕、軟	47 (18.7)	66 (23.8)	15 (7.0)	0
	2. 因為金屬的成分是鐵	37 (14.7)	38 (13.7)	6 (2.8)	0
	3. 因為鋁不會被磁鐵吸引	40 (15.9)	69 (24.9)	22 (10.3)	3 (1.1)
	4. 因為鋁可做成鋁門窗	12 (4.8)	3 (1.1)	5 (2.3)	1 (.4)
	5. 因為鋁不是過渡元素[註1]	–	–	–	0
(c) 其他		1 (.4)	1 (.4)	0	6 (2.3)
未填答		1 (.4)	2 (.7)	4 (1.8)	3 (1.1)

註 1：表示僅為高中試卷有的選項。

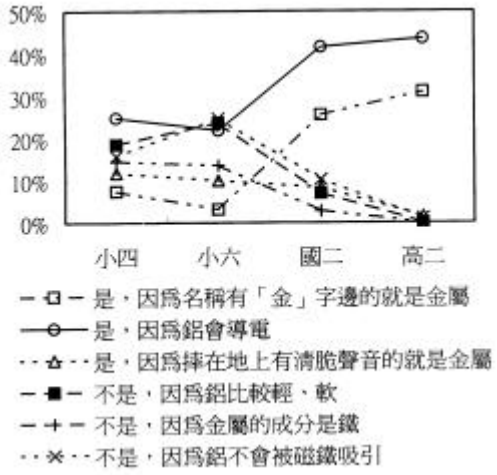

圖 5：各年級對於鋁之歸類分佈圖

字邊的就是金屬」的則分別為 7.5 %、3.2 %、25.7 %、31.1 %，顯示中學生傾向以物質名稱為判斷的依據比小學生高出不少，也再次顯示了語言的影響。而認為「摔在地上有清脆聲音的就是金屬」的，則分別為 11.9 %、10.1 %、8.4 %、 .0 %，與晤談結果小學生提出的理由頗為吻合。其次；認為鋁不是金屬的學生當中，小四與小六在三項理由的選答比率頗為平均，依序為「因為鋁比較輕、軟」（小四 18.7 %、23.8 %）；「因為金屬的成分是鐵」（小四 14.7 %、13.7 %）；「因為鋁不會被磁鐵吸引」（小四 15.9%、24.9%）。

伍、結論與建議

交互比對初探研究、個別晤談以及雙層試題的施測結果，有不少頗為吻合的發現，顯示試題的施測結果反映了學生的觀念，例如個別晤談發現學生的歸類依據包括「是否為採挖出來的礦物」、「敲打的聲音是否清脆」，雙層試題施測結果發現的確有部分學生持有這些觀點（對照表 4 與圖 2、圖 5）。又如初探研究、個別晤談發現有不少中學生以「有金字邊是金屬」為歸類依據，小學生傾向以「是否被磁鐵吸引」為歸類依據，這些傾向在雙層試題的施測結果也頗為符合（對照表 3 與圖 5），顯示本研究的雙層試題應能有效診斷學生的迷思概念。此外，迷思概念

診斷評量的信度之建立，文獻中似乎尚未有恰當的或已獲得共識的技術，本研究採用的重測方法應是比較適合的，但是列聯相關是否可以合理的建立信度仍有討論的空間，例如前測、後測選答一致的百分比如果不高，只要同一列（前測或者後測）的某一細格人數比其他細格高，列聯相關仍可能達顯著（因為每一列的細格之人數顯著與某一攔有關連性），不過本研究查驗了前測、後測選答一致的百分比，因此應合理建立了雙層試題之信度。

從施測結果值得注意的是，文獻中不少學者指出學生的概念並非單一而獨特，經常受到情境的影響而有概念競爭或概念生態的情形（例如 Maloney, 1993; Strike 和 Posner, 1985; Taber, 2001）。由研究結果顯示對於「金屬」的分類，學生有類似的傾向，例如小學生除了傾向以直接知覺（例如固體、磁鐵吸引、輕重、清脆聲音等等）做為歸類依據，並且有隨著題目而變化（分類的客體不同以及選項之變化）的不穩定現象。例如「摔在地上有清脆聲音」的判準而言，在第四題「鋁」的分類小四與小六都有超過 10 %的學生選答這個理由，但是在第一題「鑽石」的分類，小四與小六選答此項判準的都不到 4 %。顯示小學生對於金屬之分類，並未有一致性的歸類依據。類似的情形是「是否被磁鐵吸引」的歸類依據，在第一題「鑽石」選擇此項依據的到了高二都還有 17.4 %，但是在第二題「汞（水銀）」以及第四題「鋁」只有小學生選答的比率維持在 15 %以上，中學生選答此項判準的都約在 5 %以下。文獻中有些學者以不同的語詞表徵學生概念的不穩定性或變動性，例如 Taber（2001）指出學生對於現象的說明，經常只具有形式（form）而缺乏說明能力的「偽說明（pseudo-explanation）」，Nakhleh 和 Samara-pungavan（1999）研究學生對於物質的信念，發現學生缺乏真正的說明架構（true explanatory frameworks）。這些現象顯示不論中外，學生缺乏如同科學家一般完整、一致的概念。

研究結果也呼應了 Nelson（1990）指出兒童進行分類是一種「整體性處理」而比較不是一種「分析性處理」，亦即較為依賴整體性的知覺，缺乏邏輯分析的特質。此種特性可能由於金屬概念包括了比較重、會導電、金金亮亮等等的自然概念（natural concept）以及空軌域、延展性、電子海等等的人為概念（artificial concept），前者主要由生活經驗獲得，後者主要透過學校教育習得。在尚未接受金屬概念之教學的學生，可能透過自身對於金屬的天然概念進行較為直覺性的「整體性處理」，因此顯示了不穩定的現象。

另一方面值得注意的是，由研究結果發現不論中學小學，語言對於學生的金屬分類概念具有頗為重要的影響，有不少學生將「汞（水銀）」解讀為含有「銀」的成分，尤其國二有幾近一半學生（48.6 %）持有此項觀點，小四學生則有 11.9 %認為水銀含有水所以不是金屬。而國二與高二認為「因為名稱有金字邊就是金屬」的比率比小學高了約 20 %，顯示年級越高，語言的影響有越明顯的傾向。因此在教學或教材設計時，應注意如何避免學生過度的通則化語言（或文字）的意涵。又如在教週期表的元素命名時，除了說明金屬元素以金字邊命名之外，也應提醒或強調有金字邊的物質名稱未必就是金屬，而在介紹「水銀」時也應強調其成分不包含水或銀。

本研究研究對象雖然包括小學生，但是並不意味小學生應具備專家層級的金屬概念，研究的主要目的是提供一個學生分類概念的特性之理解，並探索不同年級學生在金屬歸類之特徵及差異性，期望研究結果能提供對於迷思概念的診斷以及教學之參酌。

致　　謝

本研究之完成承國科會經費補助（NSC 90-2511-S-142-004），以及王瓏真、李銘川、陳舜佳三位老師協助研究工作，謹此一併致謝。

參考文獻

1. 邱美虹、侯政宏和唐國詩（1997）：高一學生岩石分類表現之研究。教育研究資訊，5(2)，93-104。
2. 莊志彥（1998）：國小學童知覺選擇與動物分類概念之研究。國立臺中師範學院國民教育研究所碩士論文（未出版）。
3. 教育部（1993）：國民小學課程標準。台北：教育部。
4. 黃達三（1993）：國小學生分類能力發展初探。國科會專題研究報告：NSC81-0111-S-143-501-N。
5. 黃達三（1994）：國小學生的生命、動物、植物概念發展及另有架構的研究。國科會專題研究報告：NSC82-0111-S-143-003。
6. 陳柏棻（1993）：職前生物教師動物分類另有概念之研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
7. 鄭昭明（1993）：認知心理學：理論與實務。臺北：桂冠圖書股份有限公司。
8. 蔡智文和周進洋（2001）：質量守恆定律迷思概念二段式測驗診斷工具的發展與結果。論文發表於中華民國第十七屆科學教育學術研討會。高雄市：國立高雄師範大學科教所。
9. Braund, M. (1991). Children's ideas in classifying animals. *Journal of Biological Education , 25*(2), 103-110.
10. Biddulph, F., & Osborne, R (1983). *Children's ideas about "Metals." Learning in science project (Primary). Working paper No. 112*. New Zealand: Waikato Univ., Science Education Research Unit (ERIC document Reporduction Service No. ED 252395)
11. BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching, 28*(8), 689-704.
12. Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2000). Leaners' mental model of metallic bonding: A cross-age study. *Annual Meeting of the Australia Science Education Research Association, 21*(2), 126-177.
13. de Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education, 81*(4), 445-467.
14. Driver, R., & Russell, J. (1982). *An investigation in the idea of heat, temperature and change of state, of children between 8 and 14 years.* Leeds: University of leeds.
15. Erik, S. (1995). How are living things alike and different? First graders' knowledge of basic life science concepts. *Journal of Biological Education, 29*(4), 286-292.
16. Gilbert, J. K., Osborne, R. J., & Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education, 66*(4), 623-633.
17. Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education, 80*(5), 509-534.
18. Inhelder, B., & Piaget, J. (1969). *The early growth of logic in the child.* New York: Norton.
19. Krascum, R. M., & Andrews, S. (1993). Feature-based verus exemplar-based stragies in

preschools' category learning. *Journal of Experimental Child Psychology, 56,* 1-48.

20. Maloney, D. P. (1993). Conceptual competition in physics learning. *International Journal of Science Education, 15*(3), 283-295.
21. Natadze, R. G. (1963). The mastery of scientific concepts in school. In B. Simon & J. Simon. (eds.), *Educational psychology in the USSR.* London: Routledge & Kagan Paul.
22. Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education, 69*(3), 191-196.
23. Nakhleh, M. B., & Krajcik, J. S. (1994). Influence on levels of information as presented by different tchnologies on students' understanding of acid, base, and pH Concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 31*(10*)*, 1077-1096.
24. Nakhleh, M. B., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary school children's beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teahing, 36*(7), 777-805.
25. Nelson, D. G. K. (1990). When experimental findings conflict with everyday observations: Reflections on children's category learning. *Child Development, 61*(3), 606-610.
26. Peterson, R. F., & Treagust, D. F. (1989). Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education, 66*(6), 459-460.
27. Philips, D. G., & Philips, D. R. (1989). *Structutres of thinking: Elaboration, evaluation and applications of a model of intellectual development.* North Liberty. Iowa: Insights.
28. Rosch, E. H., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D., & Boyes, B. P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology, 8*, 382-439.
29. Ross, B., & Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: A study of high-school students' understanding of acids and bases. *International Journal of Science Education, 13*(1*)*, 11-23.
30. Smith, E. E., & Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, Mass: Harvard University press.
31. 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*.(pp. 211-231). London: Academic Press Inc.
32. Taber, K. S. (2001). Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education, 23*(7), 731-753.
33. Tan, K. C. D., Goh, N. K., Chia, L. S., & Treagust, D. F. (2002). Development and application of a two-tier multiple choice diagnostic instrument to assess high school students' understanding of inorganic chemistry qualitative analysis. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(4), 283-301.
34. Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic test to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education, 10*(2), 159-169.
35. Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn & R. Duit. (Eds.), *Learning science in the school: Research reforming practice* (pp. 327-346). Mahwah, NJ: Erlbaum.
36. Trowbridge, J. E., & Mintzes, J. J. (1988). Alternative conceptions in animal classification:

A cross-age study. *Journal of Research in Science Teaching, 25*(7), 547-571.

37. Voelker, A. M. (1972). *Elementary school children;s level of attainment of selected classificatory science concepts.* Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Chicago.
38. Ward, T. B. (1990). Further comments on the attribute availability hypothesis of children's category learning. *Child Development, 61*(3), 611-613.
39. Woods, W. A. (1981). Procedural semantics as a theory of meaning. In A. Joshi., & B. Webber. (eds.). *Computational aspects of linguistic structure and discourse setting.* Cambridge: Cambridge University Press.

A Study of Elementary and Secondary School Students' Misconceptions of the Classification of Metals

Liung-Rong Hsu
Deparetment of Natural Science Education, National Taichung Teachers College

Abstract

The purpose of this study was to develop and apply a two-tier diagnostic instrument to explore students' misconceptions of the classification of metals. In the present study, we modified the procedure of Treagust (1988, 1995) to develop the instrument. The pilot study involves a survey with an open-end questionnaire, the results of which serve as the major source for determining the instances and questions for interviews. The interviews explore students' misconceptions which provides the basis for the design of the two-tier diagnostic instrument. The developed instrument was then administered to 246 fourth graders, 275 sixth graders, 207 eighth graders and 251 eleventh graders (total N = 879), selected from the schools in the middle geographic area of Taiwan. The reliability of the instrument was established by the test-retest method. The results indicate the students have some misconceptions about metals, including all metals are attracted to a magnet, and mineral products are metals. Language is a potential source of the students' misconceptions. For example, they tend to think that the matter's name (in Chinese) denotes the component of a metal, and that 'water-silver' (the Chinese name of mercury) has a silver component. On the other hand, the students lack consistent criteria for classifying metals. Further studies are needed in this respect.

Key words: Classification, Metal, Misconception, Two-tier instrument.