

中學學生如何連結科學理論與現象？

白勝安、鐘建坪、邱美虹*、張志康

國立臺灣師範大學科學教育研究所

60167@yahoo.com.tw、hexaphyrins@yahoo.com.tw、

*mhchiu@ntnu.edu.tw、changchihjang@yahoo.com.tw

摘 要

本研究利用國內 2000 年進行的國家科學概念學習研究(the National Science Concept Learning Study, 簡稱 NSCLS)資料，針對中學學生的氣體粒子行為概念進行次級分析。根據 Wellman (1994)的認知地圖以及 Hempel (1958)和 Nagel (1961)提出的科學理論模型兩個架構來探討中學學生如何將科學理論與經驗現象連結。研究結果顯示：(1)高中學生對於氣體壓力產生較正確的解釋和預測，且較少人作出不合邏輯的回答。(2)國中和高中學生偏好以在日常生活中可觀察到的分子量和體積解釋和預測現象的人數比例相當。(3)選取到錯誤概念的中學學生，超過三成能正確的連結概念間關係，但將近三成的學生卻連概念間的關係都無法正確連結。

關鍵詞：科學理論模型、認知地圖、氣體粒子概念

一、研究動機與目的

國科會於 2000 年進行一個長達六年的研究計畫，稱為國家科學概念學習研究(the National Science Concept Learning Study, 簡稱 NSCLS)。該研究計劃利用二階層診斷測驗設計試題診斷學生物理、化學和生物三大領域概念的理解。該計畫施測對象涵蓋 3608 名國小學生、6989 名國中學生和 2934 名高中學生。此類大型研究，如同國際研究計畫方案 TIMSS 和 PISA 等，擁有龐大數量的研究對象及嚴謹的研究設計，其資料能夠從不同面向不斷的進行分析與探討（邱美虹，2006；Guo, 2007）。有鑑於此，本研究團隊利用其資料進行次級分析，從 Hempel (1958) 提出的科學理論模型和 Wellman (1994)的認知地圖探討學生的概念連結情形(Chung, Bai, Chiu, & Chang, submitted)。本研究持續分析不同試題以了解中學學生如何連結科學理論與經驗觀察。

基於上述緣故，本研究探討 2 個研究問題：(1)國中與高中學生於粒子行為概念擁有哪些類型的認知地圖？(2) 國中與高中學生在粒子行為理論模型內的連結情形為何？

二、理論背景

(一)、科學理論模型

Hempel (1958)和 Nagel (1961)對於科學理論結構提出一個理論模型，包含理論系統、對應規則和經驗觀察三個層次。科學家利用理論術語建構出一個系統，也就是一般所熟悉的科學學說或理論。當利用理論系統解釋觀察到的經驗現象時，就必須透過對應規則將其聯繫在一起。例如科學家利用壓力、體積、溫度等術語來建構氣體粒子大小、行為相關的理論。然而在日常生活中則是利用像是「變重」、「變大」、「變熱」來描述所觀察到的現象。

Hempel (1958)認為理論系統成了一個複雜的網絡架構懸浮在經驗觀察平面的上方，理論術語則成了網絡中的節點，透過對應規則的細線連結到觀察平面上的相對位置，如圖 1。有些理論術語不必直接跟經驗術語對應，而是與其他的理論術語連結後，再與經驗術語產生間接的對應關係。因此透過理論系統對目前和過往的經驗進行解釋，還可以對新的現象和規則作預測。然而 Hempel (1958)和 Nagel (1961)並未對三個層次的組成細節作較詳細的說明，本研究以 Wellman (1994)的認知地圖來說明對應規則的機制。

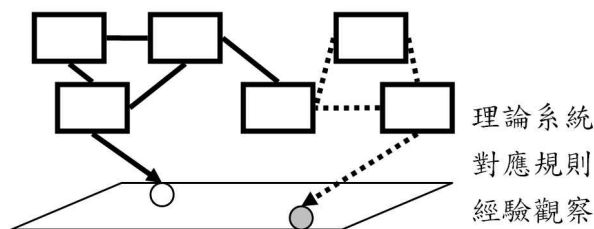


圖 1 科學理論模型(Hempel, 1958; Nagel, 1961)

(二)、認知地圖與推論

Wellman (1994)認為認知地圖是一種圖形化的質性模型，可以一覽概念間的因果關係。在此視覺化表徵方式中，主要由概念及概念間的因果關係所組成。透過箭頭的方向可以得知何者為因，何者為果。值得一提的是，透過+、-和 0 來表示因對果的影響為何。+表示正向影響或促進的意思，-則為負向影響或抑制，而 0 代表沒有影響。此影響以結果的推論情況為判斷標準，而非考慮原因，或因果間的正、負相關。以圖 2 為例，當年珍珠港一役中若日軍持續閒置，不但造成本身的耗損，同時促進美軍的準備，最後抑制日軍此役的勝利。

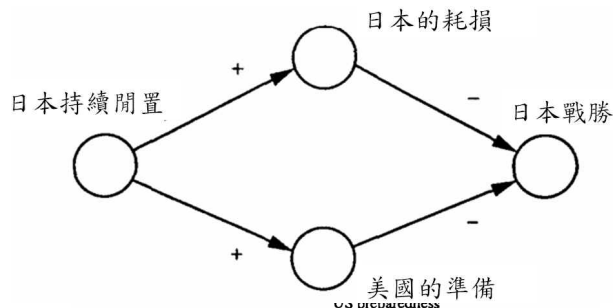


圖 2 認知地圖範例說明(引自 Wellman, 1994, p140)

本研究利用認知地圖說明前述科學理論模型裡的對應規則。在理論系統中包含許多概念，並對應到經驗觀察平面，其間利用認知地圖來說明對應規則如何作用。若從認知地圖來觀察學生如何利用科學概念來解釋所觀察到的現象時，便可以理解學生是否能夠

選取正確的理論系統以對應到經驗平面上；面對問題時，學生利用科學理論模型對現象進行預測。因此可以利用認知地圖來分析學生如何利用對應規則。

(三)、關於氣體粒子概念的研究

化學領域中，有許多不易學習的主題，而氣體粒子便是其中之一(Chiu, 2007)。由於氣體粒子方面的概念多建立在微觀層次上，但卻是多數人在日常生活中無法觀察到。關於氣體粒子的經驗多屬於巨觀層次，因此許多學生常會將巨觀層次所觀察到的現象當作氣體粒子的本質，而無法解釋微觀層次的機制概念(鍾曉蘭，2007)。

此外，氣體粒子也具有本體論架構裡突現的屬性，包含一致的、非受限的、彼此獨立的、同時的、持續的等特徵(Chi, 2005)。從許多研究當中可以發現，具有突現屬性的概念都不容易學習 (Chi, 2005)。

因此學生對於氣體粒子常抱持許多另有概念，例如粒子移至氣球邊緣使其體積變大、氣壓變小使得粒子體積變大、在開放空間中氣體平均速度受溫度影響、因可移動空間變小使得碰撞頻率變大而增加平均速度、可移動空間變大增加隨機運動機率而增加平均速度、同體積容器中因粒子體積較大而有較高的氣壓、活性較大的粒子產生較大的氣壓、粒子的重量影響分佈的位置、重力影響氣壓等(Chiu, 2007)。

三、研究方法

(一)、分析試題

NSCLS 施測時試題包含 A、B、C 三種版本。三個版本皆採用 Treagust (1995)提出的二階層診斷測驗施測，為一般選擇題增添第二階層進一步了解學生針對第一層回答的理由。本研究針對化學部分 HCA13 進行分析，概念內容為粒子行為，僅在 A 版本出現，未在 B 和 C 版本出現，試題內容如圖 3。

25°C 時，將大小相同的甲、乙兩瓶分別裝入相同數目的氦氣 (He) 和氧氣 (O₂)，氣體在瓶內產生的壓力何者較大？(已知：氧氣 (O₂) 分子的質量、體積及活性皆是較氦氣 (He) 為大，且視氦氣和氧氣為理想氣體)



甲
氦氣 He



乙
氧氣 O₂

13. () 甲、請問在甲、乙兩瓶中氣體的壓力何者較大？

1. 氦氣。
2. 氧氣。
3. 兩者一樣大。

() 乙、承上題，你的理由是：

- A. 分子量小的氣體平均速度快，平均速度越快的氣體壓力越大。
- B. 分子量大的重量較大，所以造成的壓力較大。
- C. 氣體粒子的體積較大者，所造成的擠壓情形較嚴重，故壓力較大。
- D. 活性較大的氣體，其運動平均速度較快故其撞擊力大，產生的壓力較大。
- E. 相同分子數目之不同種類氣體，裝入相同條件的瓶子中，壓力會相同。

圖 3 HCA13 試題內

(二)、研究對象

NSCLS 施測範圍分為北、中、南、東四區，以 A、B、C 三個版本分層隨機抽樣 2003 年就讀國小、國中和高中的學生，本研究針對施測 A 版本的國、高中學生進行分析，各有 2296 名和 908 名。

(三)、工具效度

從 Wellman (1994) 的認知地圖中分析第二層選項理論術語間的因果關係。如圖 4，在 A 選項中分子量小「促進」速度增加，同時速度較快「促進」壓力變大，編碼上均標示為「+」。並與第一層作答對照，是否有互相牴觸。研究工具的編碼先經 2 位化學領域背景的科學教育專家審視過，再由本研究團隊進行評分者一致性分析。119 個因果關係中有 2 個不一致，係數為 0.98。並以 SPSS 17.0 版處理資料，進行敘述統計裡的交叉表分析比較國中與高中學生在不同類別分佈的情形。



圖 4 工具編碼範例

四、結果與討論

(一)、認知地圖類型

認知地圖類型 1 (簡稱 CM1) 為選項 1A、2A，如圖 5a 所示。抱持 CM1 的學生認為分子量會影響粒子平均速度，進而影響粒子所產生的壓力。認知地圖類型 2 (簡稱 CM2) 為選項 1B、2B，如圖 5b 所示。抱持 CM2 的學生認為分子量會影響重量，進而影響粒子所產生的壓力。認知地圖類型 3 (簡稱 CM3) 為選項 1C、2C，如圖 5c 所示。抱持 CM3 的學生認為粒子體積會影響粒子所產生的壓力。認知地圖類型 4 (簡稱 CM4) 為選項 1D、2D，如圖 5d 所示。抱持 CM4 的學生認為分子活性會影響粒子運動速度，進而影響粒子所產生的壓力。認知地圖類型 5 (簡稱 CM5) 為選項 3E，亦是本題的正確答案，如圖 5e 所示。抱持 CM5 的學生認為溫度、容積和分子數目會影響粒子所產生的壓力。認知地圖類型 6 (簡稱 CM6) 為選項 1E、2E、3A、3B、3C、3D。抱持 CM6 的學生可能抱持前述 5 種認知地圖，但第一層和第二層選項明顯矛盾。例如選 1E 的學生於第一層作答認為氦氣的壓力大，但在第二層卻認為兩種粒子產生的壓力會相同。

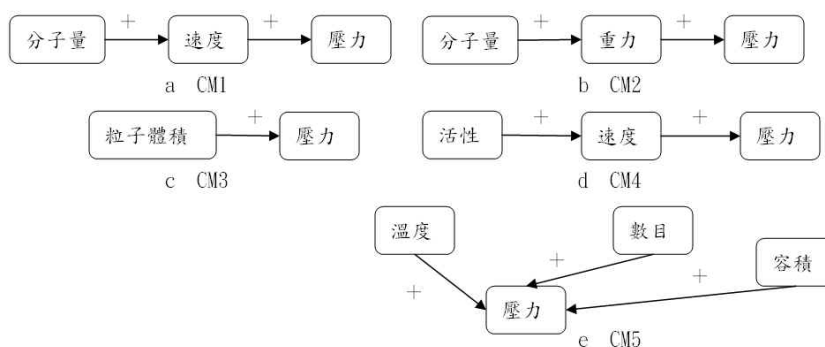


圖 5 五種 CM 類型

表 1 呈現國中與高中學生抱持各種 CM 類型的人數比例。不同年級學生的 CM 類型達到顯著差異 ($\chi^2=52.190$, $df=5$, $p=.000<.05$)。利用事後比較發現，抱持正確的 CM5 人數比例到了高中有明顯上升，受粒子活性影響的 CM4 和矛盾的 CM6 則明顯下降。但是 CM1、CM2 和 CM3 卻沒有達到顯著差異。結果顯示，國中和高中學生偏好以在日常

生活中可觀察到的分子量和體積解釋和預測現象的人數比例相當。

表 1 跨年級學生抱持的 CM 類型分佈情形

CM 類型	國中人數(%)	高中人數(%)
CM1	6.5	5.7
CM2	16.6	16.1
CM3	18.4	18.3
CM4	22.6	16.7
CM5	29.8	40.7
CM6	6.1	2.4

(二)、理論模型內的連結情形

從 Hempel (1958)提出的科學理論模型中，可以分成理論系統、對應規則和經驗觀察三個層次。若將理論術語視為一個概念，模型中的連結可以分成理論系統中「概念-概念」和「理論-現象」(即對應規則)兩個連結。理論系統具有解釋和預測的功能，若選取概念、概念間的連結或對應規則出現錯誤，將對應至錯誤的現象(Nagel, 1961)。因此可以將連結分成下面五種情形(見圖 6)。錯誤的選取概念和現象以虛線表示，而以 V 和 X 分別表示正確及錯誤的連結。

連結情形 1 (簡稱 S1) 為選項 3E。S1 的學生為兩個連結都正確。例如選 3E 的學生以溫度、體積和分子數目正確解釋壓力。連結情形 2 (簡稱 S2) 為選項 1A、2B、2D。S2 的學生能夠正確連結「概念-概念」，但於「理論-現象」則產生錯誤的連結。例如選 1A 的學生誤以分子量和速度解釋壓力，但知道氮氣的分子量比較小。連結情形 3 (簡稱 S3)。S3 的學生無法正確連結「概念-概念」，但於「理論-現象」則能夠正確連結。由於試題設計的緣故，並無符合 S3 的選項出現。連結情形 4 (簡稱 S4) 為選項 1B、1C、1D、2A、2C。S4 的學生在「概念-概念」、「理論-現象」都錯誤連結。例如選 1B 的學生不但誤以分子量和速度解釋壓力且認為氧氣的分子量比較小。連結情形 5 (簡稱 S5) 為選項 1E、2E、3A、3B、3C、3D。S5 的學生同前述 CM6，在兩個連結間出現矛盾。例如 1E 的學生於第一層作答認為氮氣的壓力大，但在第二層卻認為兩種粒子產生的壓力會相同。只有 S1 和部份 S5 的中學學生有選取到正確的概念，但是 S5 的學生連結出現矛盾。

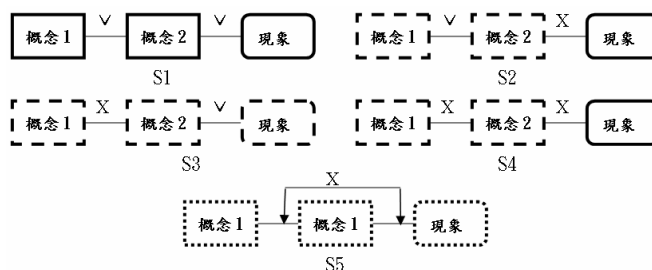


圖 6 理論模型內連結情形

跨年級學生於各種理論模型內連結情形的人數分布如表 2。跨年級比較學生的連結情形時，達顯著差異 ($\chi^2=46.448$, $df=3$, $p=.000<.05$)。利用事後比較發現，在 S1 中高

中人數比例明顯高過國中人數比例，而在 S5 中則明顯比國中人數比例低，此結果與學生抱持的 CM 類型分析一致。但是在 S2 和 S4 中國中與高中未達顯著差異。結果顯示許多國中和高中學生以錯誤的理論對應到壓力現象，且人數比例接近。

表 2 跨年級學生於理論模型內連結情形情形的人數

連結情形	國中人數(%)	高中人數(%)
S1	29.8	40.7
S2	35.6	31.8
S4	28.5	25.0
S5	6.1	2.4

五、結論和建議

本研究從 Wellman (1994)提出的認知地圖分析中學學生透過哪些概念預測氣體壓力現象，並如何說明概念間的因果關係。此外還採用 Hempel (1958)和 Nagel (1961)的科學理論模型，了解他們是否能夠正確選取概念、連結概念間的關係並對應到正確的經驗現象。任一階段發生錯誤，他們就無法作出正確的現象預測。

從前面的分析結果顯示，高中學生對於氣體壓力產生較正確的解釋和預測，且較少人作出不合邏輯的回答。29.8%的國中學生和 40.7%的高中學生能選取到正確的概念、正確對現象進行解釋和預測；僅不到 6.1%和 2.4%會有矛盾的連結。選取到錯誤概念的國中學學生，超過三成能正確的連結概念間關係，但將近三成的學生卻連概念間的關係都無法正確連結。因此選取到正確的壓力現象對應的理論後，學生在概念間的連結較無困難。

受限於 NSCLS 試題設計的緣故，在本研究中無法看到更多的選取和連結的情形。未來可利用 Wellman (1994)的認知地圖和 Hempel (1958)及 Nagel (1961)的科學理論模型設計試題，分析學生如何連結概念、解釋及預測現象。了解學生在哪一環節的能力較為薄弱後，再透過教學加強。

致謝

感謝國科會經費補助(NSC 94-2511-S-003-010)，特此致謝。

六、參考文獻

- 邱美虹 (2006)。TIMSS2003台灣國中二年級學生的科學成就及其相關因素之探討。科學教育月刊，27 (1)，3-14。
- 鍾曉蘭 (2007)。以多重表徵的模型教學探究高二學生理想氣體心智模式的類型及演變的途徑。國立台灣師範大學科學教育研究所碩士論文 (未出版)。
- Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes. *Journal of the Learning Science*, 14, 161-199.
- Chiu, M. H. (2007). A National Survey of Students Conceptions of Chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 421-452.

- Chiu, M. H., Guo, C. J. & Treagust, D. F. (2007). Assessin Students Conceptual Understanding in Science: An introduction about a national project in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 379-390.
- Chung, C. P., Bai, S. A., Chiu, M. H., & Chang, C. K. (submitted). A secondary analysis study of Taiwanese students' conceptual survey on the behavior of gas particles using a cognitive map approach. Annual international conference of National Association for Research in Science Teaching (NARST).
- Guo, C. J. (2007). Issues in Science Learning: An International Perspective. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 227-256.
- Hempel, C. G. (1958). The Theoretician's Dilemma. In H. Feigl, M. Scriven & G. Maxwell (Eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science* (Vol. 2). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Nagel, E. (1961). *The structure of science: Problems in the logic of science education*. NY: Harcourt, Brace, & World, Inc.
- Treagust, D. F. (1995). Diagnostic assessment of students' science knowledge. In S. M. Glynn and R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 327-346.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. (1992). Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Wellman, M. (1994). Inference in cognitive maps. *Mathematics and computers in simulation*, 36, 137-148.