

複雜系統觀點在擴散教學的應用

鐘建坪

新北市立錦和高級中學

hexaphyrins@yahoo.com.tw

■ 前言

化學學科知識具備巨觀 (macro-)、符號 (symbolic) 與中觀 (meso-) 三個向度 (邱美虹和鐘建坪, 2014; Johnstone, 1982, 2006; Mahaffy, 2006; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003)。其中巨觀指可觀察到的化學現象與相關實驗操作, 符號指化學式、化學反應式以及實驗過程繪製的圖、表等, 而中觀則指利用原子、分子與離子等符號解釋巨觀現象。對於不易觀察到的化學世界, 科學家利用看不見的粒子解釋巨觀現象的發生原因, 例如氣球的壓力來自於內部氣體粒子隨機碰撞造成的結果。此種利用中觀粒子的運作機制說明巨觀現象的改變, 即屬於複雜系統 (complex system) 的概念層級。自然科學的領域多屬於複雜系統, 因此學習科學不應該只有片段或是局部的事實記憶, 而是應該提升層級從更宏觀的系統視野學習科學才能提升跨領域的整合 (Wilensky & Reisman, 2006)。有鑒於此, 本文嘗試先介紹複雜系統的意義, 接著說明專家與生手對於複雜系統的差異觀點, 最後提供化學擴散教學的相關範例作為化學教師教學上的參考。

■ 複雜系統定義與介紹

複雜系統並非單純說明系統的複雜性質

而是強調個體元件之間的關聯性所產生的突現結果 (emergence), 而系統中不同層級具備不同的行為, 無法由個別單一的個體行為解釋整體系統的運作 (Chi, Roscoe, Slotta, Roy & Chase, 2012; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Wilensky & Resnick, 1999)。不僅自然科學中的混沌 (chaos)、平衡 (equilibrium)、演化 (evolution) 與非線性系統 (nonlinear system), 甚至日常生活惱人的塞車問題都屬於複雜系統的範圍 (Bar-Yam, 1997)。例如: 蝴蝶效應 (butterfly effect) 即是說明牽一髮而動全身的非線性複雜系統, 當蝴蝶震動翅膀時牽涉相關因素產生變化, 初始變化不易察覺, 但是一旦突破臨界時即會產生巨大的結果。或者一隻喜鵲是獨立個體, 而許多喜鵲組成一個群落, 而不同群落之間的交互作用形成生態系, 而生態系中不同物種個體之間的交互作用即為構成物種演化的動力來源。

■ 專家生手對複雜系統感知差異

複雜系統通常是反直觀的, 學生普遍缺乏此種概念的理解 (Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Goldstone & Wilensky, 2008; Jacobson & Wilensky, 2006), 而透過專家與生手對於複雜系統觀點的研究能夠提供後續教師提供教學策略模式的參考。相較於專家, 生手對

於複雜系統的想法主要受到知覺的影響而強調單一個體的個別行為忽略複雜系統是個體間交互作用突現的結果 (Chi, 2005; Chi et al., 2012; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)。例如：學生認為平衡時化學反應即為停止的狀態而非動態過程 (Stieff & Wilensky, 2003)。相關文獻結果說明如下：

一、生手容易專注在個別行為忽略系統是眾多個體突現的結果

學者 Chi 等人 (Chi, 2005; Chi et al., 2012) 認為學生容易以直接因果 (direct-causal) 作為系統行為的解釋依據，將不具備意圖性的個別粒子誤認為具有意圖性的行為而彼此間的交互作用才使得系統造成變化，而非全體粒子彼此之間交互作用突現的結果。

二、生手容易受到知覺的限制忽略整合整體面向

學者 Hmelo-Silver 和 Pfeffer 利用結構 (structure)、行為 (behavior) 與功能 (function) 描述複雜系統以探討專家與生手對水資源系統使用表徵的情形 (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)。其中結構指水資源系統中的各種物件與其之間的關聯，例如：水庫、雨量與森林等；行為指水資源系統中的因果機制如何產生，例如：水庫淤積的原因是上游的森林遭到砍伐，而功能指水系統中各種物件能夠展現的特性，例如：水庫的功能能夠儲存水。結果發現生手多以結構而少以行為與功能作出機制性的解釋，然而專家能夠整合系統內物件的結構、功能與行為作出解釋 (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)。

■ 透過複雜系統促進學生對擴散概念的理解

擴散是指在特定條件下不同粒子隨機運動進行的動態過程。粒子進行擴散時全部粒子擴散的情形無法藉由特定的單一粒子行為加以說明，而是需要理解粒子擴散的行為機制是全體粒子相互作用之後突現的結果。學生通常只專注在特定的成份或是次系統中缺乏連結不同物件之間的關聯，以至於無法順利發展出複雜系統觀點。因此教師應該提供機會讓學生藉由鷹架的輔助得以發現複雜系統的突現觀點。在此提供質性描述的複雜系統觀點作為化學擴散概念的教學介紹。

一、以個體為基礎的角色扮演

首先將班級學生區分為兩組，站在教室兩邊分別指定為染料與水分子，其中教室即為盛裝粒子的系統。接著教師說明中觀粒子具備的行為，例如：無方向性、無固定位置的隨機碰撞以及溫度增加粒子運動速率增加等性質。當教師說明完畢後讓學生練習操作體會隨機碰撞與溫度改變時的速率變化，當學生能夠化身為個別的粒子之後，接著再由教師宣布染料開始滴入水中，此時化身為粒子的學生即開始在固定的速率下進行隨機碰撞，一段時間之後請學生蹲下觀察代表不同組別學生分布的情形。接著教師再宣布提高系統的溫度，此時化身為粒子的學生需要比之前更快的速率進行隨機碰撞，接著再請學生觀察四周時體會與先前溫度較低的差異情形。教學過程中教師亦可以透過錄影撥放的方式讓學生體會個別粒子的行為無法說明化學擴散的進行而是透過整體粒子突現所形成

的結果。

二、利用電腦模擬中觀粒子分布情形

目前許多課程內容透過電腦模擬方式協助學生進行粒子擴散行為的探討 (Chi et al., 2012; Levy & Wilensky, 2009; Stieff, & Wilensky, 2003)。例如：連結式化學課程 (Connected Chemistry Curriculum) 以複雜系統中的突現觀點提供分子運動的動畫模擬，讓學生藉由視覺化觀察體認個別粒子交互作用所形成的巨觀現象 (Levy & Wilensky, 2009)。或者同時設計模擬巨觀的擴散現象與中觀粒子的運動情形相互比較，讓學生知悉巨觀現象擴散的中觀粒子的解釋機制 (Chi et al., 2012)。與角色扮演相同的是電腦模擬同樣是要讓學生體會個別粒子無法解釋全體的行為，然而不同的是，透過電腦模擬的方式可以讓學生更方便地建構出單一粒子與全體圖像的差異。

三、利用改良式文本進行分子運動情形的解構

Chi 等人 (Chi et al., 2012) 設計改良式的擴散文本作為學生學習的教材，內容將擴散過程按時間順序解構處理。如圖 1 時間 A 所示，一開始兩端液體尚未開始混合，中間部分皆無染料與水分子。開始混合如時間 B，染料與水分子在中間部分佔據比例逐漸增加，一段時間後如時間 C 所示，染料與水分子分布比例比時間 B 更高。過程中不僅可以讓學生透過文本進行閱讀，更可以運用誘發性的問題促進學生自我解釋以達到對於擴散概念的理解。

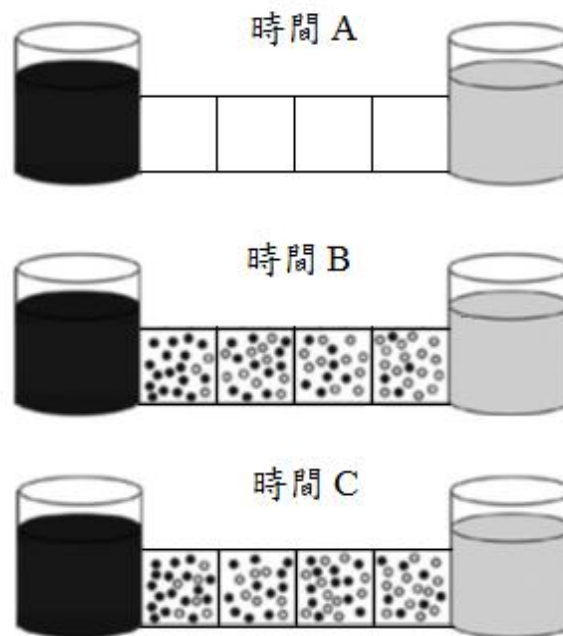


圖 1：圖示染料分子擴散情形 (修改自 Chi et al., 2012)

■ 結語與意涵

本篇文章嘗試說明複雜系統並以擴散概念作出範例說明。粒子擴散的機制屬於複雜系統的突現行為，其中個別粒子的運作無法解釋擴散結果而是所有參與粒子共同交互作用產生的視覺或味覺效果。雖然眼睛視覺可以觀察到染料分子逐漸從高濃度往低濃度擴散，然而事實上是中觀的染料分子與水分子彼此交互作用突現出巨觀現象的結果。

對於擴散等化學概念，學生往往受到知覺的限制以個別物件或是觀察到的巨觀現象作為系統行為解釋的成因，為達到化學概念的深層理解需要提供學生中觀粒子運動的情形，讓學生能夠以中觀粒子解釋突現後的各種化學現象。而納入複雜系統的上位想法的化學教學則對於往後相關類似現象可以進行跨學科的遷移，例如物種演化為物種間交互作用與化學粒子交互作用突現形成的結果原

理機制相似皆無法藉由單一個體解釋全體行為的機制。假若學生能夠知悉複雜系統的特徵與性質，則學生在未來學習相關概念時較不容易形成鬆散的知識片段而是建構出融貫的心智表徵。

■ 參考資料

- 邱美虹、鐘建坪 (2014)。模型觀點在化學教科書的角色與對化學教學之啟示。《**化學教學**》，36(1)，93–97。
- Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of complex systems*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199.
- Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., & Chase, C. C. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, 36(1), 1–61.
- Goldstone, R. L., & Wilensky, U. (2008). Promoting transfer by grounding complex systems principles. *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 465–516.
- Hmelo-Silver, C., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 53–61.
- Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28(1), 127–138.
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11–34.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *School Science Review*, 64(277), 377–379.
- Johnstone, A. H., (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49–63.
- Mahaffy, G. P. (2006). Moving chemistry education into 3D: A tetrahedral metaphor for understanding chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49–55.
- Stieff, M., & Wilensky, U. (2003). Connected Chemistry: Incorporating interactive simulations into the chemistry classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 12(3), 285–302.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of the submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—an embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171–209.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3–19.