科學教育學刊
1993, 第一卷第二期, 161-188

EJ51-1993-161

分子模型與立體化學的解題

邱美虹* 傅化文**

*國立臺灣師範大學科學教育研究所
**國立臺灣師範大學化學系

(投稿日期：82年7月26日，接受日期：82年8月31日)

摘要：本研究的目的是在探討受測者如何使用分子模型 (molecular kit) 來解決立體化學中 (stereochemistry) 異構物 (isomers) 的問題。研究方法乃是利用出聲思維 (think-aloud) 的技巧來瞭解受測者之心智模式 (mental model) 在解題過程中所扮演的角色以及策略使用與對分子表徵之理解的情形。根據一般分子表示法，研究者以下列四種型態爲主要比較的種類來觀察何種表徵對解題較有利，以及不同表徵與分子模型可能產生的互動關係 (interaction)：(1)分子式表示法(2)平面二度空間的表示法(3)三度 (或二度半) 空間的表示法(4)給予實際以分子模型作好的分子結構。合計共有9個問題。這些題目中有些是相同 (或是相似) 的分子但表示法不同，以便比較不同表徵對解題的影響。

本研究結果顯示，分子表徵方式不同，對學生解題影響頗大。平均而言，學生在解題上的學習成就最高爲第四類型。誠如預期，給予實際分子模型學生表現較佳。其他依次爲類型一、類型三、類型二。出乎意料的是學生在類型一的表現遠較類型二、類型三爲佳 (僅與前者達顯著差異，5%)。高成就組的學生對平面的投影之表徵方式能轉換成三度空間來判斷其分子的立體結構，然而低成就組對平面的表示法則往往無法透視 (visualize) 或想像 (imagine) 其原子間的相對位置。然而在面對具體的分子模型時，學生在解題上表現較佳，高、低成就組相差最少。故使用分子模型，對低成就組學生幫助頗大。這結果可提供教師教學時的參考。同時高成就組在解題時其所呈現的方式品質 (quality) 較佳，對問題亦有多樣表徵 (multiple representations)，有助解題。然而低成就組則往往只視分子爲平面結構，造成解題上的錯誤。

關鍵詞：心智模式、分子模型、問題表徵、解題

壹、緒　論

一、前　言

由於分子結構存在於微觀世界中，學生在學習立體化學時，對分子中原子間的相對位置或其特性，有相當的困難度。要瞭解原子間的立體關係必須要具備一些想像力或藉助模型來瞭解其空間相對位置，這對一般缺乏訓練的學習者而言，不是一

件容易的事。因而在教學上使用分子模型來說明原子間的相對位置較書本上僅用二度空間的平面表示法要來得有效。對學習者而言，最理想的狀況則是每位學習者擁有自己的分子模型，以輔助其瞭解三度空間內原子間的關係以及旋轉後的相對位置。

究竟分子模型對學習者有何幫助？分子模型對不同程度的學習者而言，在解題時，所扮演的角色又是如何呢？學習者對一度線性分子式表示法、二度空間的表示法、與三度空間中原子間的立體關係，又究竟具有何種模式的認知呢？本研究將針對這些問題做一探討與分析。

二、研究目的

本研究著重於以下三點的分析：

⑴受測者對不同分子表徵的理解；

⑵受測者如何利用分子模型來解答問題；

⑶高、低成就的受測者其解題表現與策略，有何異同？

本研究是以美國大學生和研究生爲研究對象。在解題時，受測者必須作“出聲思維”，以供研究者探討受測者如何利用心智模式來解題以及受測者與分子模型間的互動關係。除錄音、錄影外，受測者在試卷紙上所作的解題過程亦爲資料來源之一。

貳、文獻探討

根據 Talley (1973) 的研究報告顯示，大學的新生中使用分子模型來觀察化學分子內原子間互動關係者，學習成就較高。不僅在化學上如此，在生物化學上，利用分子模型也有助於瞭解 DNA 和 RNA 的結構和活動。三度空間的分子模型，具有同時表達多部位之間的相關位置。最重要的乃是可以幫助學生透視二度空間的表示法與其實際三度空間的相對位置。而平面的表徵並無法提供我們對一個物體在空間關係上的瞭解 (Holford & Kempe, 1970)。根據 Holford 和 Kempa 的研究顯示學生若使用實體，這種經驗使他們透視和解釋結構的能力較使用一個二度空間的表徵爲佳。

本章節將針對分子模型與心智模式的相關文獻作一探討。

一、分子模型

在目前認知與教學的研究中指出教師若能適當地教導學生如何使用概念圖 (concept map) 那麼對概念或概念間的關係可形成有意義的學習 (Novak & Gowin,

1984; Wandersee, Mintzes & Arnaudin, 1987)。研究顯示，概念圖對呈現概念間複雜的關係或用以說明學生迷思概念中的不一致性爲一有力的工具。由於使用概念圖時必須透過圖表、繪圖、或表格的方式來呈現學習者的理解與其整合知識的能力 (Arnaudin, Mintzes, Danm & Shager, 1984; Trowbridge & Mintzes, 1988)，因此專家與生手在表現上會不同。然而面對抽象、非直覺性、或邏輯上不具高相關性的概念， Zoller (1990) 認爲概念圖的方法不見得有效。譬如在判斷環狀化合物中要判斷該物質是否具備光學活性， Zoller 則認爲應採取二個步驟：(1)使用模型！(2)尋找對稱面！ Zoller 認爲如此才能解決學習上的困難。

Talley (1973) 指出若訓練大學生使用立體 (三度空間) 分子模型可以改進大學生普通化學的成就表現。然而 Small 和 Morton (1983) 的發現指出有受過立體分子模型訓練的學生，在有機化學的空間問題上表現較控制組 (沒有受過訓練的) 高，但在非空間問題上並沒有差異。在 Small 和 Morton 的研究中指出，他們在與修有機化學的學生作非正式的談話中發現，學生並不知道如何有效地使用分子模型組。

Holford & Kempa (1970) 認爲平面表徵 (flat represetation) 並不足以提供一個物體在空間中其眞實深度的關係，因此要透過一個二度空間的表徵得到一個有意義的資訊是很困難的。根據他們的研究顯示給予一群高中生化學晶體的實體鏡與照片，學生使用實體鏡者由於可以透視實體間的關係，對他們形成心像 (image formation) 較易。 Bishop (1978) 對三度空間模型的看法是 3D 模型除了表示空間物體間的相對位置外，其餘的特性皆一概省略，可降低問題的複雜度。雖然使用單一模型來說明要較使用教科書中平面圖型或課堂上口述來得好，但總不及每位學生皆有自己可以操弄的模型。 Bishop 同時也指出立體模型可以同時呈現各物體間的關係，如此有利學生學習，亦可與平面圖型表徵互相連結。

Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein (1988) 的研究指出學生在學習微觀世界的現象 (如分子、原子結構) 時，一般而言，學習者會扭曲其原子模型的心像。其原因可從兩方面來看。(1)內在的因素。若從 Ausubel, Novak, Hanesian (1978) 所強調的有意義的學習來看，學習是基於學生既有的知識上去學習。然而一般而言，學生所擁有的迷思概念或心智圖 (mental picture) 是由過去的學習和直覺所組成，爲了保有這些迷思概念，學生便會設法扭曲新資訊。(2)另一種可能則爲心智圖與外在因子互動而產生新的心智圖。若以 G. A. Miller (1956) 所提出的心智容量 (mental capacity) 爲例。此心智容量若只能容納部份單位的資訊，當某人同時處理一組資訊時，它可能只處理或執行部份資訊。因此這個因子便會影響學習者學習解決較複雜的

問題。

Yackel (1984) 曾指出學生使用繪圖法或呈現其他結構表示法有利於他們獲得正確的答案。她認爲圖型 (diagrams) 有以下三個功能：

1. 可視爲記憶的外在輔助工具 (external aid)；

2. 有利於心像 (mental images) 的形成；

3. 注意到 (通常是隱藏式的， implicit) 問題中各成份間的其他關係。

譬如學生將分子式改爲結構式，並不見得減少短期記憶 (STM) 的使用空間，但卻有利於心像形成。有機化學中常可見棍狀結構 (stick structure)、空間填塞模式 (space-filling models)、紐曼投影法 (Newman projections)、費式投影法 (Fischer projection) 及以二度空間表徵法來表現一個三度空間的分子。無疑的，透過這些表徵來操弄或建構 (construct) 一個三度空間的心智模式 (mental model) 或心像，對學習有機化學而言是非常重要的 (Shepard, 1978) 。

二、心智模式

在過去幾年中許多認知心理學的研究都致力於心智模式之特質的探討。心智模式乃是指人們對特定領域內的狀態 (state) 所作的內在表徵以及該領域內各成分間的互動和改變的過程 (Viscuso 和 Spoehr, 1986) 。 Norman (1983) 認爲在談到心智模式時，必須對下列四個名詞先加以界定：

㈠目標系統 (Target system)：顧名思義，即爲學習者所學習或使用的系統。

㈡概念模式 (Conceptual model)：對目標系統提供一個“適當的” (appropriate) 的表徵。在此“適當”的定義界定爲正確的 (accurate)，一致的 (consistent) 和完整的 (complete)。而概念模式可由教師、科學家和工程師創造發明而得。

㈢心智模式：爲自然發展而得的模式。經由與目標系統的互動產生的模式。在技術上，這些模式並不需要完全正確 (通常大都不是)，但在功能上他們必須要能夠運作 (functional)，使其能得到操作後的結果。

一般而言，心智模式會受到下列三項因素的影響：(1)使用者的專業背景；(2)過去在類似系統內的經驗；(3)人類資訊處理系統的結構。

㈣科學家對心智模式的概念：很明顯的，它即爲模式的模式 (a model of a model) 。

有上述認識後我們來看心智模式的定義。

根據 Viscuso 和 Spoehr (1986) 認爲心智模式應具備下列四項特性：

㈠心智模式是可執行 (runnable) 的：它允許使用者對情境或事件作心智模擬，同時也可預測當系統中的一部分改變時其如何影響其他部分。

㈡由於上述模擬效應可傳遞到系統的所有部位，故心智模式擁有相互連結的訊息 (connectedness information)。

㈢又因任何改變必傳遞到整個模擬系統內，意味著因果相關性之存在。故因果關係是必然存在於心智模式中 (inherent)。

㈣由於因果關係的傳遞可推論出系統中不同組成的功能，因此心智模式包含有功能性 (functional) 的訊息。

因此 Viscuso 和 Spoehr 所強調的是心智模式是可用以執行的模式以及其內在組成間因果關係之存在。Williams, Hollan, Stevens (1983) 也認爲基本上所謂心智模式，乃是一些可以執行的物體 (objects) 或心智的實體 (mental entities) 的組合。在這個心智模式中，每個物體間存在一個特定的關係 (association)、變數 (parameters)，或步驟 (procedures)。利用這個獨特的關係可以達到推論 (inference) 或解題的目的 (problem solving) (Holland et al., 1986)。譬如在物理“功”的原理上，專家便會建立一個直接含有相關物體 (如輪軸、彈簧等) 的模式，同時也會聯想到一些並非全然沒有直接關連的物體 (如磨擦力、速度等)。專家利用這樣一個具有多重特性的模式去決定何時、何地、以及如何使用正確的參考點來解題。Kieras 和 Bovair (1984) 則認爲實際上心智模式就是一種設計 (或裝置) 模式 (device model)。由受測者對某一設計 (或裝置) 所提供“如何操作 (how-it-works)”的相關訊息即可知曉其對該設計 (或裝置) 之內在結構的瞭解狀況。Collins 和 Gentner (1987) 則指出人類大都是透過類比對應關係 (analogical mappings) 來建構心智模式，因而這些模式深受文化背景的影響。這種說法與前述 Norman 所提影響心智模式所受到的三項因素中之㈡有異曲同工之效。

基本上，Norman、Williams 等人、Viscuso 和 Spoehr 所談的心智模式都強調該模式是用以執行或運作以達完成一工作 (task) 的目的。而工作內容則可包括解題和概念學習等。

雖然心智模式有分析與理解學習者的內在運作模式的功能，但根據 Norman (1983) 對有關心智模式的觀察，發現下列六點問題。雖然仍有爭議，但值得從事心智模式的研究者深思。

㈠心智模式是不完整的 (incomplete)。

㈡一般人使用心智模式的能力有限。

㈢心智模式是不穩定的 (unstable)；一般而言，人們常疏忽他們使用系統的細節，尤其是對較不常使用的部分。

㈣心智模式並不具備固定的範疇 (boundaries)：因此類似的設計或操弄常易混淆。

㈤心智模式是“不科學”的 (unscientific)：人們常保留一些“迷信”的 (superstitious) 行爲類別，以省去較多體力與心智上的工作。

㈥心智模式是節制的 (parsimonious)：一般而言，人們寧可作額外的物體操弄而不願從事心智上的規畫，以減少心智上的負荷與複雜度。

在目前研究專家特質 (expertise) 的領域裡，研究者們發現專家 (expert) 不但具有較完整的知識外，他們在架構自己的心智模式方面也較具系統化。他們能將各方面的知識融合在一起，觸類旁通。解題時，他們具有快速抽取適當專業知識的能力 (Anderson, 1990; Glaser, 1990; Glaser & Chi, 1988)，這與新手 (Novice) 迥然不同。在新手方面，知識的表徵 (representation) 和使用，與專家大異其趣。新手不僅具有較不完整的知識而且彼此間缺乏連貫性和系統性。面臨問題時，他們只會利用表面的線索去解題，而不會深入問題的內部去探討 (Chi, Felfovich, & Glaser, 1981, Larkin, et al., 1980; Larkin, 1983)。如此，他們的心智模式往往不足以用來解決問題。究其原因，可歸於他們知識的(1)不完整，(2)不正確，和(3)不連貫。

參、研究方法與步驟

本研究主要是利用受測者以出聲思維的解題技巧來瞭解受測者如何透過既有的知識結構與具體模型來解題以及與分子模型教具間在解題過程中之互動關係。

一、研究方法

本研究是利用口語資料分析法 (protocol analysis, verbal report as data) 來觀察受測者內在的思考模式、認知和解題過程。受測者必須遵循出聲思維的法則，將其在操作過程中所使用的觀念或符號，以同步的方式口述出來，以供研究者分析。Ericsson 和 Simon (1984) 認爲這種出聲思維的經驗對大多數人而言，並非全然陌生。譬如，每個學生都難免有向同學解說如何解題的經驗，但是很多情況下，這些過程在被表達 (articulate) 前已經過相當程度的中介過程 (intermediate processing) 而非立即口述其認知過程 (on-line cognitive processes)。而在此所謂出聲思維的技巧乃強調後者。

根據 Ericsson 和 Simon，出聲思維的分析法通常包括以下二個主要步驟：

㈠字彙的解碼 (Encoding Vocabulary)

通常在解碼的最初狀況，是將其所使用來描述物體或關係的詞彙挑選出來以便定義其問題空間 (problem space) 和操作元 (operators)。一般而言，口語資料大多包含有個人控制 (control)、評量過程 (evaluative processes)、和目的 (goals) 的資料。有時候，研究者會發現在有些句子部分無法解碼。在這種情況下，便有必要適時加入額外補充之意義使其成爲完整的字句。

㈡段落的解碼 (Coding the Segments)

在口語資料的分段裡，每個段落相當於一個陳述。當段落呈現支零破碎的情況時，則有必要刪減模擬兩可 (ambiguity) 的部分。若解碼者對其工作有相當程度的瞭解，解碼者在分段與使用口語的全文資料上，其可信度可達 0.8 或 0.9。

在全文經過以上解碼的過程後，在分析的層次上，研究者還可以將解決問題時的口語資料用在整合的層次 (aggregate level) 上。如：

1. 插曲式的整合 (Aggregation by Episodes)
2. 解題步驟的整合 (Aggregation by Solution Steps)
3. 過程整合 (Aggregation by Processes)

由以上的分類，可以顯示出整合口語資料的重要性，尤其在分析個別差異上更有其不可忽視的地位。當然，最重要的是最後如何用分析所得的資料來說明研究的現象。Chi (1993) 以個人從事多年口語資料 (verbal data) 分析的經驗將“分析與編碼” (analyzing and coding) 分爲八個步驟。每一個步驟都必須與各自的研究問題環環相扣。此八步驟爲：

1. 縮減資料 (reducing the data)；
2. 選取小單位來分割龐大的口語資料；
3. 決定分割的特質；
4. 發展一套方法學或形式方法 (formalism，如網路 (network)) 來編碼；
5. 決定口語資料中何種證據可以形成形式方法圖 (map)；
6. 描述編碼後的資料；
7. 尋找知識結構、內容或解題策略的類型 (pattern)；
8. 對類型加以解釋。

本研究在操作時，儘量避免提供不必要的暗示，以免干擾或改變其思路。同時本研究也整合 Ericsson 和 Simon (1984) 與 Chi (1993) 的研究法，針對本研究需要進行資料收集與分析。

二、研究對象

本研究的對象是美國賓州大學生及研究生各五名。大學生都已修習過有機化學中立體化學 (stereochemistry) 的部分，而研究生都在與化學相關的研究所就讀。受測者是在校園內以自願參加方式取得，由於不是隨機取樣，因此在分析上，可能產生選樣的問題。

三、研究步驟

本研究目的是在觀察學生如何利用他們既有的知識和分子模型來解答有關立體化學中異構物的問題。雖然本研究的對象都已上過有機化學中立體化學的課題，但因並非所有的研究生皆專攻有機化學，因此在實驗測試前，研究者給予每位學生一張異構物分類的流程圖 (見附錄一) 。使用此流程圖有二個目的：

1. 幫助學生回憶其原有的知識 (prior knowledge) 。
2. 幫助研究者瞭解學生在異構物方面知識的架構以及如何使用原有的知識去解題。

此流程圖的主要架構取材自 P. W. Atkins (1989) General Chemistry 的第 784 頁。而最底層的部分 (即 chirality 和 enantiomers) 則是依該課文中的定義直接摘錄併入此流程圖中，以求一貫性。

除流程圖與模型之外，研究者並不再給予其他教學資料或提示。學生在取得此流程圖時，必須將所回憶的內容同步口述出來，不同的學生，很顯然的對此流程圖有不同的反應，經由出聲思維的方法，可以提供研究者一個確切的瞭解。同時，使用此一流程圖的另一個的重要目的，是訓練學生使用出聲思維的習慣，以便解題時之用。在使用流程圖的過程中，學生沒有時間的限制，因此可以就該表盡情發揮。

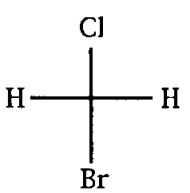
四、測試內容

根據一般分子表示法，研究者以下列四種型態爲主要比較的種類來觀察何種表徵對解題較有利，以及受測者對不同表徵與分子模型可能產生的互動關係 (interaction) ：

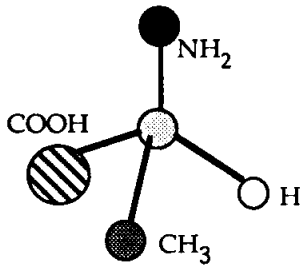
1. 一度線性分子式表示法 (題 1,2) ，如

$$(CH_3)_2C(NH_2)COOH$$

2. 平面二度空間的表示法 (題 3,4) ，如



3.三度(或二度半)空間的表示法(題5,6)，如



4.給予實際用分子模型作好的分子結構(題7,8,9)。

合計共有9個問題。這些題目中有些是相同(或是相似)的分子但表示法不同，以便比較不同表徵對解題的影響。

每一個問題的解題時間(起始與終止)都被記錄下來，而且大部分的學生都被全程錄影其解題過程(包括如何操作分子模型來"透視"原子間的立體關係。)當然，學生也有選擇不使用模型的權利。若是如此，研究者也可從口頭報告中進一步分析其原因與解題的方法，以作一對照。

在學習成就的評量上，將以統計方法來分析其資料。而在定性分析上，將採前述的口語資料分析法來瞭解解題過程中，操作分子模型的策略以及對原子空間關係的理解。

肆、研究結果與討論

茲將本研究結果敘述如下來說明學生解題時，所使用的策略以及分子模型所扮演的角色。

由於一位研究生測試的題目與其他受測者略爲不同，故摒除在外不予討論。餘下九位受測者因在資料分析中須將學生分成高、低成就兩群比較，故學習成就居中者(恰爲大學生)亦不包括在內，故以下爲八位受測者的學習成就表現的分析結果。

一、學習成就

根據學生的表現顯示，平均而言，學生在解題上的答對率爲79.17%(見表一)。學習成就最高的爲第四類型(87.5%)。誠如預期，給予實際分子模型學生表現較佳。其他依次爲類型一(一度線性分子式表示法，81.25%)、類型三(三度(或二度半)空間的表示法，78.12%)、類型二(平面二度空間的表示法，53.12%)。出乎意料的是學生在類型一的表現遠較類型二爲佳。推測原因可能有下列2點：(1)類型二

表一 學生在各類型題目的答對率

	類型一	類型二	類型三	類型四	平均
答對率	81.25	53.12	78.12	87.50	79.17
標準差	(37.20)	(33.02)	(31.16)	(19.42)	(22.60)

中有一題爲判斷環狀化合物是否具有異構物？若有爲何？(題 4) 由於牽涉到順式與反式結構問題，學生在解題時大都未能考慮周詳，因而降低該類型的成就表現。(2) 類型一與類型二問題內容不同。前者以判斷是否具光學活性爲主，而後者以異構物之分類爲主。學生對後者常因其對鏡像的判斷有誤，以及對二度空間的表示法缺乏明瞭其空間相關位置的能力，導致表現較差。而對前者則可採用“一個碳原子是否接 4 個不同的原子 (團)”原則或轉換成有利解決問題的型式來解題，故表現明顯的高於類型二。有關此部分的詳細說明，容後再述 (見圖三與圖四)。而在類型三中，分子以三度空間 (或所謂二度半空間) 表示法爲主，要求學生來回答有關異構物的問題。有四分之三以上的學生皆回答正確，表示此類型較有助於學生瞭解空間相對位置，以利解題。

學生在第二類型的表現較類型一、三、四都要低，其差異皆達顯著水準 (5%)。其它各類型間的差異並未達顯著水準。

本研究又根據解題成就的結果將學生分成高成就 (答對率爲 96.88%) 和低成就 (答對率爲 61.46%) 組兩群 (見表二)。

表二 高低成就組在各類型測試題目的表現

	類型一	類型二	類型三	類型四	平均
高成就組	100.00	81.25	100.00	100	96.88
	(0)	(14.30)	(0)	(0)	(2.38)
低成就組	62.50	25.00	56.25	75.00	61.46
	(47.87)	(15.15)	(31.46)	(21.52)	(18.69)
兩組差	37.50*	56.25*	43.75*	25.00	35.42*
	(47.87)	(10.27)	(31.46)	(21.52)	(17.54)

( ) 爲標準差　　* 顯著水準爲 5%

平均而言，高成就組在各題型表現皆優於低成就組 (見表二) 。若將測試題目依題型分四類來看：高低成就組的答對率在類型一各爲 100% 和 62.50% ，類型二各爲 81.25% 和 25.00% ，類型三則爲 100% 和 56.25% ，類型四則爲 100% 和 75% 。高成就組在類型一、三、四的表現皆達 100% ，而低成就組表現最佳者爲類型四。高低成就兩組解題表現最低都在類型二，此結果與表一中的整體評量有一致性。

平均而言，高低成就組學習成就表現相差 35.42% 。最大差異在第二類型 (56.25%) ，而在第一類型 (37.5%) 與第三類型 (43.75%) 的差異，也達顯著水準 (5%) 。差異性最小者爲第四類型 (25.0%) ，未達顯著水準。高低成就組在第二類型的差異性大顯示，高成就組的學生對平面的表徵方式 (representation) 較能轉換成三度空間來判斷其分子的立體結構，然而低成就組對平面的表示法則往往無法透視或想像其原子間在空間的相對位置，造成他們的答對率甚低，也因而影響整體在第二類型上的表現。同時高成就組學生對環狀化合物也能考慮到順式與反應結構對判異構物的影響。而在第四類型中，由於題目所給爲具體的分子模型，因此對低成就組學生而言，不僅他們在該項表現較其他各類型來得高，同時該類型的成就表現與高成就組的成就表現相差最少。這結果顯示在使用具體分子模型時，低成就組較能有效且正確的解題。

此外，低成就組在第一類型與第二類型的成就表現差異爲 37.5% ，第二類型與第四類型的成就表現差異爲 50% ，二者皆達顯著水準。然而在高成就組中卻不見此現象。

二、解題時間

表三是說明學生解題時所使用的時間。整體來看，學生平均每一題所使用的時間爲 158.64 秒 (約 2 分半鐘) 。學生對各類型所使用的時間如下：第一類型爲 188.19 秒 (約 3 分鐘) ，第二類型爲 271.46 秒 (約 4 分半鐘) ，第三類型爲 168.44 秒 (約 2 分 48 秒) ，第四類型爲 107.92 秒 (約 1 分 47 秒) 。

表三　學生解題時所使用的時間

	類型一	類型二	類型三	類型四	平均
解題時間	188.19	271.46	168.44	107.92	158.64
標準差	(102.71)	(123.16)	(116.56)	(60.72)	(64.21)

若與表一學習成就來看相關，研究結果顯示學生對第二類型所使用的時間最長，可是學習成就最低。學生對第四類型所使用的時間最短，而答對率最高，這結果說明分子模型對解題的助益頗大，不僅學生答題速度快且答對率也高。

若將學生對各類型題目所使用的時間加以比較發現，類型二所使用的時間遠長於類型一、三、四，同時各時間差也皆達 0.05 的顯著水準。而學生在類型一所使用的時間與在類型四上的時間差也達 0.05 的顯著水準。其他各類型間的時間差皆未達統計上的顯著差異。

若依高低成就組來看學生解題時所使用的時間，高成就組平均使用 119.10 秒 (約 2 分鐘) 來解決每一個問題，而低成就組則平均使用 248.90 秒 (約爲 4 分鐘) 來解每一道題，大約爲高成就組的兩倍 (見表四)。低成就組學生較高成就組學生使用較長的時間來解各類型題目，然而成就評量卻不及高成就組。

表四　高、低成就學生解題時所使用的時間

	類型一	類型二	類型三	類型四	平均
高成就組	116.25 (68.73)	196.25 (55.13)	88.62 (34.88)	75.25 (19.65)	119.1 (24.07)
低成就組	260.12 (78.04)	346.62 (131.49)	248.25 (116.19)	140.58 (73.28)	248.9 (36.26)
兩組差	143.87* (54.06)	150.37* (152.97)	159.63* (142.96)	65.33 (78.23)	129.79* (51.42)

( ) 內爲標準差。　*顯著水準, 5%

表四說明高低成就組在各類型所花費的時間，除類型二較長外，從類型一到類型四有遞減的情形，依長短分別爲類型一、類型三、類型四。雖學習成就與使用時間似乎沒有直接的關係，但卻與題目類型有直接關係。易言之，以具體模型呈現時，除了對低成就組而言有顯著的幫助外 (學習成就增加)，同時在解題所使用的時間上也縮短了不少，因而高低成就組相差較小 (僅約爲 1 分鐘)。其次爲三度空間表示法，再者爲以分子式表示法，最長時間者爲二度空間平面表示法 (第二類型)。由於第二類型不易從一個二度空間表示法來看出其三度空間的相關位置，且涉及環狀化

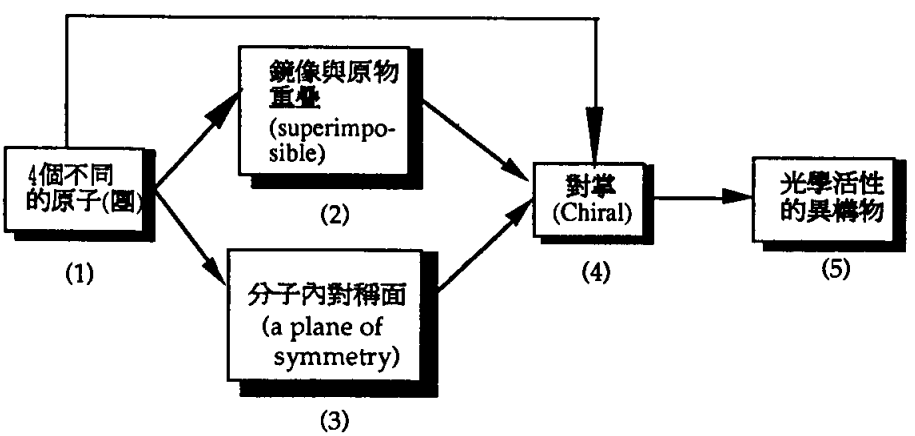
合物之問題，故學生解題時，所使用的時間甚長，表現最差。若比較高低二組在各類型所使用的時間差，除類型四外，餘皆達顯著差異 (5%)。

若作組內比較，分析結果顯示，高成就組學生解第二類型題目時所使用的時間遠較其他各類型要長且皆達顯著水準。而對低成就組而言，類型二所使用的時間 (大約 6 分鐘) 與類型一 (4 分 20 秒)、類型三 (4 分鐘) 的時間差未達顯著水準，但與類型四 (2 分 20 秒) 的差異則達顯著水準。

綜上所述，高低成就組皆使用較長的時間來解第二類型平面表徵方式的題目，而學習成就都較低，在第四類型中，因所提供的爲具體模型，減少學生判斷原子空間位置的認知負荷 (cognitive load)，故所使用的時間都較短。而根據口語資料分析結果顯示，高成就組學生解題時能直接使用正確的解題策略與概念，因此解題時間較短。然而低成就組學生卻使用嘗試錯誤或概念不清的原理、策略去解題，其解題途徑亦不具系統化，雖使用較長時間解題，但成就評量仍偏低。詳細說明與比較見解題策略與個別差異部分。

三、解題策略

學生的解題步驟可以圖一來說明之。基本上，圖一是一種條件式 (IF-THEN) 的解題法 (如 Anderson 所稱爲的 production system)。(1)先判斷一個碳原子是否接 4 個不同的原子 (團)，(2)判斷是否鏡像與原物能重疊或(3)是否有分子內對稱面 (a plane of symmetry)，(4)由是否鏡像與原物相同再來判斷是否具有對掌中心 (chiral)，再到(5)是否爲具有光學活性的異構物 (見圖一)。



圖一　學生的解題步驟

學生的解題方法有以下五種：

方法一：(1)→(2)→(4)→(5)

方法二：(1)→(3)→(4)→(5)

方法三：(2)→(4)→(5)

方法四：(1)→(4)→(5)

方法五：(3)→(4)→(5)

一般而言，高成就學生大都遵循此五法，然而低成就學生不僅對各異構物的定義不清楚，且對策略應用上也不具一致性。值得注意的是(1)和(3)不包括在原流程圖中。

根據高、低成就學生對各類型題目進行解題時，所使用的原理加以分析比較，得表五。學生解題時，使用三個原則來判斷分子的特性：(1)中心原子是否接四個不同的原子（團）？(2)兩分子是否相同 (identical) 或可重疊 (superimposable) ？(3)分子本身是否有分子內對稱面？

結果顯示，高成就組的學生較低成就組的學生使用較多次的(1)法（高 = 23 ， 低 = 12)，尤其在解類型三的題目時突顯其差異。換句話說，對於三度空間表示法，高成就組的學生較易直接利用此法則來判斷化合物是否具有光學活性。

至於(1)法雖然未在流程圖中提及，但是若一中心原子確實接四個不同的原子時，大部分學生能迅速地抽取 (retrieve) 此法則來判斷光學活性，可見其爲相當有力 (powerful) 的方法，但並不一定代表學生眞正理解該分子內原子間空間關係。若是中心碳原子所接的四個原子（團）中，其中二個不同、二個相同，則學生便不會應用該化合物不符合此法來判斷其不具光學活性，而改採其他法則來判斷之。

表五　解題所用的原則其出現的頻率

	類型一		類型二		類型三		類型四		總數	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
四個不同原子(團)	6	5	4	1	6	1	7	5	23	12
相同或可重疊	6	3	7	6	4	4	7	6	24	19
內對稱面	0	0	2	2	0	0	0	0	2	2

A：高成就組　B：低成就組

表六是分析學生解題時所使用的輔助工具或表徵法：(1)使用流程圖；(2)做分子模型；(3)劃鏡像；(4)根據個別需要，重畫與原題目不同的表示法。研究結果顯示，高低成就組在(1)項中使用頻率有顯著的差異。低成就者較仰賴流程圖來解題（計 13 次），反覆閱讀並未增加他們的理解。而高成就組對各異構物的定義皆很清楚，故不需藉流程圖來解題（僅 2 次）。在利用分子模型來解題（或驗證）時，高低成就兩組使用頻率大致相同（高成就組計 15 次，低成就組計 18 次），但二組使用情形卻不同。高成就組大都是利用分子模型來驗證個人的答案是否正確，同時也傾向將原分子模型與鏡像的模型加以比較。而低成就組則是直接將問題以分子模型來表徵，再用以解題，或只將原分子模型旋轉 180 度來代表鏡像。前者若從皮亞傑的發展階層來看，則仍停留在具體操作期，因此他們在空間關係的思考上較不成熟。後者則顯示低成就組對鏡像的不正確的想法。尤其是在解類型二與類型三時有較大的差異。高成就組的學生對平面表徵的分子會利用分子模型來觀察與檢驗該分子立體時之特性 (7 次)，而低成就組學生則僅對分子二度空間表示法做平面上的操作 (2 次)。在類型三，低成就組會透過所給予的三度空間表徵，利用分子模型來表示實際空間的關係，而高成就組對三度空間表徵的分子已能透視其空間位置，故較少使用再分子模型（高成就組計 2 次，低成就組計 8 次）。此結果顯示，即使給予學生三度空間的表示法，低成就組學生仍無法從該表示法中透視其原子（團）之空間關係，必須經由分子模型的建立，來瞭解原子間前後上下的關係。

表六　解題所用的策略

	類型一		類型二		類型三		類型四		總數	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
流程圖	0	3	2	3	0	2	0	5	2	13
做分子模型	4	5	7	2	2	8	2	3	15	18
繪鏡相	1	3	8	6	8	8	2	1	19	18
再繪化學結構	8	8	6	3	0	1	1	1	15	13

A：高成就組　B：低成就組

在使用鏡像來判斷分子的特性上，高、低成就組使用頻率大致相同。最後根據解題上個別需要，重畫與原題目不同的表示法。高成就組學生會將類型二(平面分子表示法)轉換成三度空間表徵(詳細內容見四、個別差異部分)，然而低成就組通常仍只對平面分子直接操作解題(高成就組計6次，低成就組計3次)。

由於前面談到學生對一個碳原子接4個不同的原子(團)時，能迅速地使用圖一的步驟一來判斷該分子是否具光學活性。但當中心碳原子，連接二個不同的原子時，他們卻無法由違反上述原則，而判斷此分不具光學活性。

根據此二種題型，研究者將前者稱爲題型甲，後者稱爲題型乙。表七是用來比較此二種題型的答對率。由於第4題爲環狀化合物較爲複雜，故不包括在此二種題型中。題型甲含題2、6、9題爲中心碳原子接4個完全不同的原子(團)，題型乙含1、3、5、7、8題爲連接2個相同2個不同的原子。結果顯示對低成就組學生而言，題型甲顯然答對率較高(爲題型乙的答對率的2倍)，此結果與生手較難有效地運用原理的發現不謀而合。

表七 高低成就組在題型A與B的表現

	題型 A	題型 B
高成就組	100 (0)	100 (0)
低成就組	75 (31.92)	57.50 (20.62)
兩組差	25 (31.92)	42.50 * (20.62)

( ) 內爲標準差。

題型A含(2 6 9)題 題型B含 (1 3 5 7 8)題

四、個別差異

本節針對一些特例加以說明和比較。

1. 對高成就的學生而言，他們不但能有效地使用[四個不同原子]的判斷法則，而且也能洞悉不同表徵題目間的關係。低成就組則較少察覺表徵方式不同，但具有高相關性的題目。譬如GC在解第一題時的口語資料如下。

問題 1： $(CH_3)_2C(NH_2)COOH$

GC：……我想我可將它 [分子式] 畫成這樣 [結構式]。有一個碳中心原子，一個 COOH，一個 NH_2，二個甲基 (methyl group)。所以基本上，它們的空間關係 (spatial relationship) 與第一題相同。因爲有二個相同，二個不同。……所以是立體異構物等等，我得再檢查一下此代合物是否與鏡像相同？哦！它們不具光學活性，他們是幾何異構物。

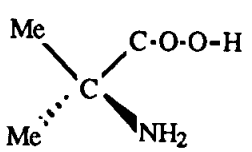
問題 2： $CH_3CH_2CH(NH_2)COOH$

GC：好，這中心 C 原子是對掌中心……因爲它有四個不同的組成，H, NH_2, COOH, CH_3。與其鏡像不可重疊，所以是光學活性。我不需做任何事，只要一中心原子接四個不同的原子 (團)，就一定是具光學活性。

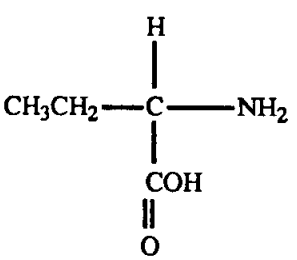
此口語資料顯示二個現象：(1) GC 能注意到類似題目但表徵方式不同者。(2) GC 能有效地應用“ 4 個不同原子”的原則。此與低成就組學生不同，通常低成就組學生視每一題爲個別獨立的問題，無視於題目相似表徵方式不同的化合物 (如題一及題八或題五及題九) 之相關性。

2. 高成就組對問題表徵層次較高，而低成就組的學生在解題時，對問題的表徵並未能簡化問題的複雜性。如高成就組的 US 及 UT 對問題 1 和問題 2 能有效地找出中心 C 原子並立即區別出其四個相鄰的原子 (團)。然而低成就組的 GB 及 UD 則似乎對問題表徵的敏感度較低。同時研究顯示，對分子式的轉換，高成就組的學生能做有效地轉換成立體空間圖或將分子表示法簡化；然而低成就組學生仍較視分爲平面結構，並將分子式轉換爲較複雜的層次 (見圖二 a 與 b)。

問題 1： $(CH_3)_2C(NH_2)COOH$



問題 2： $CH_3CH_2CH(NH_2)COOH$

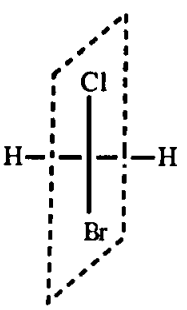


圖二 (a)　高成就學生 (US 和 UT) 對問題 1 和問題 2 的表徵方式

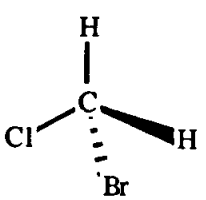


圖二 (b) 低成就學生 (GB 和 UD) 對問題 1 和問題 2 的表徵方式

3. 高成就組能將平面分子視爲三度空間的表徵方式以利解題 (如圖二 a(US)、圖三 b-c) 。同時也可利用不同的策略來解題，如圖三 (a) 之利用內對稱面外，還利用鏡像來判斷，因此可以二種或二種以上的方法互相佐證。然而低成就組的學生往往仍是將平面表示法視爲平面分子結構如圖三 (d)，而忽略分子的三度空間關係。低成就組對平面二度空間的表示法似乎常受限於其表徵而未能將之以三度空間 (立體) 方式來解題，由於他們缺乏此種由平面轉爲立體表徵方式的能力。因此在解題時，便產生許多的矛盾與衝突，以及一些不可避免的迷思概念 (misconceptions)，甚而使用不正確的解題策略或步驟。



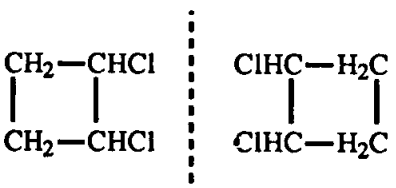
圖三 (a) 高成就學生 UD 對問題 3 所使用的解題策略



圖三 (b) 高成就學生 GC 對問題 3 的立體表徵方式



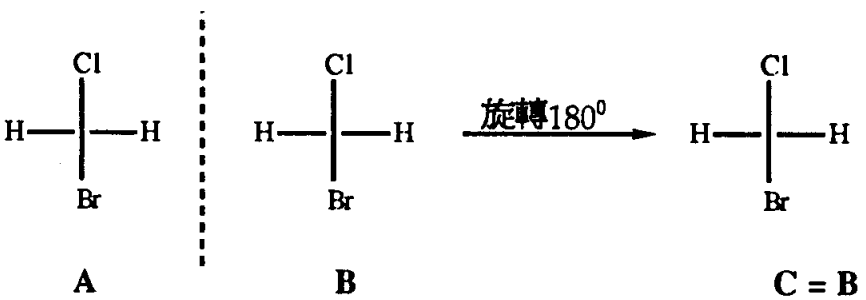
圖三 (c) 高成就學生 GC 對問題 4 的立體表徵方式



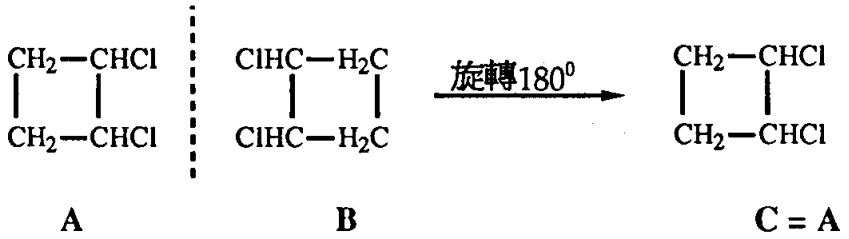
圖三 (d) 低成就學生 GB 對問題 4 的作答方式

4.低成就組學生對鏡像處理，常顯示出其不正確的思考模式，而這些模式則被不斷重覆使用於解題中。如 GB 在解題時，完全當該物爲平面分子處理，先對物**A**做鏡像**B**，然後再對 B 旋轉 180 度來判斷**C**與**B**相同 (見圖四 -a)。同樣地 GB 在解第 4 題時，亦將該分子化合物當平面分子處理 (見圖四 -b)。

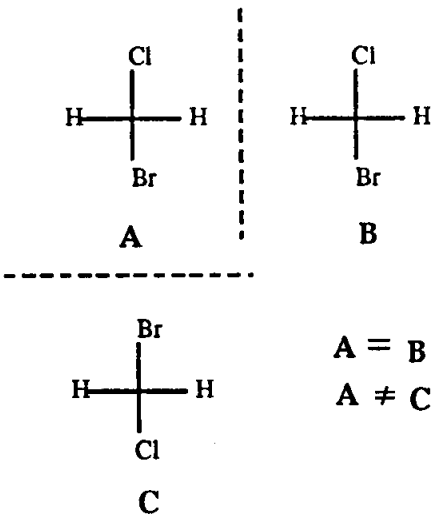
對 GS 而言，她判斷題 3 化合物是否具光學活性的方法，是對該化合物做垂直與平行的鏡像，再判斷二個鏡像是否相同來決定之。如在題 3(見圖四 -c)， GS 將其視爲平面，化合物**B**、**C**皆爲**A**之鏡像，由於**B**=**A**，所以**B**與**A**皆爲幾何異構物，而**C**不等於**A**(利用平移法來判斷是否可以重疊) 所以不是幾何異構物。 GS 利用同樣的方法來判斷題 4(見圖四 -d)。其方法同上，先給**A**之鏡像**B**與**C**，而**D**爲**B**與**C**之鏡像，因爲**C**=**A**，**B**=**A**，而**D**(**C**之鏡像) 與**B**相同，故**A**爲幾何異構物。這種迷思概念對低成就組學生而言似乎並未發覺其問題所在。



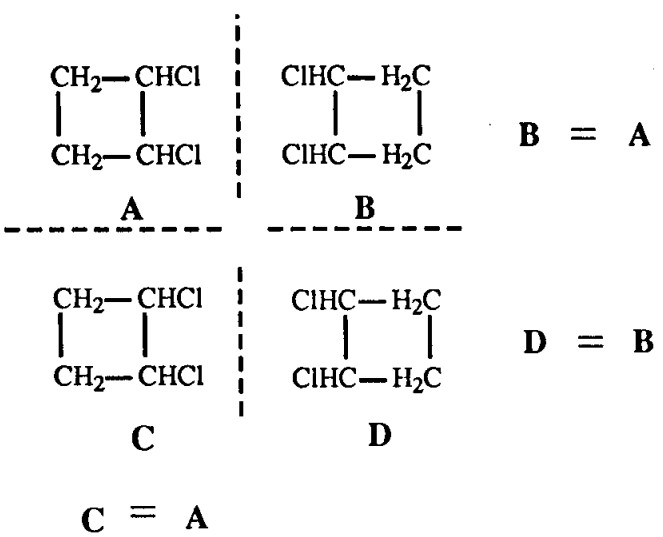
圖四 (a) 低成就學生 GB 對問題 3 的鏡像處理方式



圖四 (b) 低成就學生 GB 對問題 4 的鏡像處理方式



圖四 (c) 低成就學生 GS 對問題 3 的鏡像處理方式



圖四 (d) 低成就學生 GS 對問題 4 的鏡像處理方式

綜上所述，我們發現學生一旦擁有其用以解題的特殊模式（不論是否正確或是否完整），他們便會在解題過程中不斷地執行，由於這個因素，我們也可預期他們表現之相關性。誠如前述心智模式所具備的特性一般。又如 Greeno (1977) 所言，學生是否理解 (understanding) 問題，端視其對問題的表徵 (problem representation) 瞭解多寡而定。Herron (1983) 也曾在 "The Royal Society of Chemistry" 發表過問題表徵的重要性。

伍、結　語

自 Talley 和 Solomon (1971) 發現超過四分之三的大學教師教學都停留在抽象的層次上，而且大都以知識記憶爲主以來，以實際具體的教具來改進教學者，仍屈指可數。而這方面的研究也寥寥無幾。事實上，化學的學習常仰賴展示模型來透視物體的空間關係，以達到說明概念或原理的目的，更進一步能有助於學習者對問題形成有意義的內在表徵。

本研究結果顯示，分子表徵方式不同時，對學生解題影響頗大。根據前面資料分析顯示，平均而言，學生在解題上的學習成就最高爲第四類型，實際分子模型。其他依次爲分子式表示法、三度空間的表示法、平面二度空間的表示法。出乎意料的是學生在分子式表示法的異常表現，在未來研究中應考慮以類似於其他題型之分子式爲試題。在平面表徵的表現，高成就組的學生對平面的表徵方式能轉換成三度空間來判斷其分子的立體結構，然而低成就組表現則非常的不理想，只有四分之一的學生答對，其可能之原因爲學生過去對化學分子的平面結構與立體空間之關係缺乏有組織、有系統的訓練，因此無法從二度空間透視其三度空間中原子（團）的相對位置，以致於其表現異常的低。然而不論成就高低，學生對於具體的分子模型答對率都較高，而高低成就組間的差異也較小，這與文獻上的發現有一致性。這結果顯示若爲具體的分子模型，則對低成就組學生幫助頗大。此研究發現可提供教師教學時的參考。

至於對問題之間的相關性，高成就組學生在解題時能注意到不同類型的分子表示法中有相類似的空間關係存在，因此可以直接引用前題的結論來解題；然而低成就組卻不見其具有此能力。換言之，高成就的學生的表徵方式較完整與較正確，因此解題時能左右逢源。

本研究結果同時也顯示學生解題時採不同的策略，高成就組能較成功地使用“原則”來解題，並以其他方法（如做模型或不同表徵）來相互佐證。而低成就組則對

各定義不甚理解，因此在解題過程中呈現不一致性 (inconsistance)。在對問題表徵上，高成就組所呈現的方式品質 (quality) 較佳，較能掌握問題的重心。再者，高成就組對問題有多樣的表徵，以助解題。然而低成就組則往往只視分子爲平面結構，造成解題上的錯誤。

最後研究結果顯示高成就組學生使用分子模型時，乃是在確定其答案之正確性，因高成就組能對所呈現的問題將之視覺具體化 (visualization)，故能先在心智中運作 (mental operation)，再以實體去驗證。而低成就組學生則是利用分子模型來理解分子內原子間的空間位置，將無法視覺具體化的平面表示法以實體呈現出來，減少認知負荷，以便解題。

因此在教學上，教師應鼓勵學生使用分子模型，在學習初期不僅可以幫助他們瞭解二度空間表示法與三度空間的關係，經過反覆練習再逐漸形成心像，以便於作空間旋轉，這種過程的訓練可以使學習者形成正確的原子空間關係，慢慢由具體思維到抽象思維。就教與學的角度來說，都是值得鼓勵的。

陸、誌　　謝

本研究之進行承蒙行政院國家科學委員會補助經費 (計畫編號： NSC 81-0111-S-003-512-D)， Professor Micki Chi 之鼓勵，以及蔡惠燕博士、邱美玲及江秋米兩位化學老師的幫忙，在此一併致謝。

柒、參考文獻

1. Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, **94**, 192-210.
2. Arnaudin, M. W., Mintzes, J. J., Dunn, C. S. & Shafer, T. H. (1984). Concept mapping in college science teaching. *Journal of College Science Teaching*, **16**, 2, 117-121.
3. Ausubel, D. P., J. D. Novak, & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*, 2nd edn. New York: Rinehart and Winston.
4. Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1988). Theories, principles and laws, *Education in Chemistry*, May, 89-92.
5. Bishop, J. E. (1978). Developing students' spatial ability, *The Science Teacher*, 20-23, November.

6. Chi, M. T. H. (1993). Analyzing verbal data to represent knowledge: A practical guide, unpublished manuscript, Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA.
7. Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and reprersentation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, **5**, 121-125.
8. Collins, A. & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Holland & N. Quinn (Eds.) *Cultural models in thought and language*. Cambridge UK: Cambridge University Press, pp. 243-265.
9. Glaser, R. (1990). Expert knowledge and the thinking process. *Chemtech*, 394-397.
10. Glaser, R. & Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser, & M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise*, xv-xxviii. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
11. Greeno, J. G. (1977). Process of understanding in problem solving. In N. J. Castellan, D. B. Pisoni, & G. R. Potts (Eds.), *Cognitive theory* (Vol. 2). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
12. Holford, D. G. & Kempa, R. F. (1970). The effectiveness of stereoscopic viewing in the learning of spatial relationships in structural chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, **7**, 265-270.
13. Holland & N. Quinn (Eds.) *Cultural models in thought and language*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
14. Larkin, J. H. (1983). The role of problem representation in physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.75-100). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
15. Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Models of competence in solving physics problems. *Cognitive Science*, 317-345.
16. Kieras, D. E. & Bovair, S. (1984). The role of mental model in learning to operate a device, *Cognitive Science*, **8**, 255-274.
17. Miller, G. A. *Psychological Review*, 63-81.

18. Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In A. L. Stevens & D. Gentner (Eds.), *Mental Models*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
19. Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn.* Cambridge, England, Cambridge University Press.
20. Shepard, R. N. (1978). The mental image, *American psychologies*, February, 125-137
21. Small, M. Y. & Morton M. E. (1983). Spatial visualization training improves performance in organic chemistry, *Research in College Science Teaching*, 41-43, September/October.
22. Talley, L. H. (1973). The use of three-dimensional visualization as a moderator in the higher cognitive learning of concepts in college level chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, **10**, 263-369.
23. Trowbridge, L. C. & Mintzes, J. J. (1988). Alternative conceptions in animal classification: A cross-age study. *Journal of Research in Science Teaching*, **25**, 7, 547-561.
24. Viscuso, S. R. & Spoehr, K. T. (1986). How does a mental model facilitate comprehension of instruction? Paper presented at the annual meeting of the Psychonomic Society, New Orleans, LA, November.
25. Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Arnaudin, M. W. (1987). Children biology a content analysis of conceptual development in the life sciences. In J. D. Novak, Ed., Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, NY: Cornell University, Vol. II, 523-534.
26. Yackel, E. B. S. (1984). *Characteristics of problem representation indicative of understanding in mathematics problem solving.* (Doctoral dissertation Purdue University, West Lafayette, IN). *Dissertation Abstracts International*, **45**, 2021A.
27. Zoller, U. (1990). Students' misunderstanding and misconceptions in college freshman chemistry (General and Organic), *Journal of Research in Science Teaching*, **27**, **10**, 1053-1065.

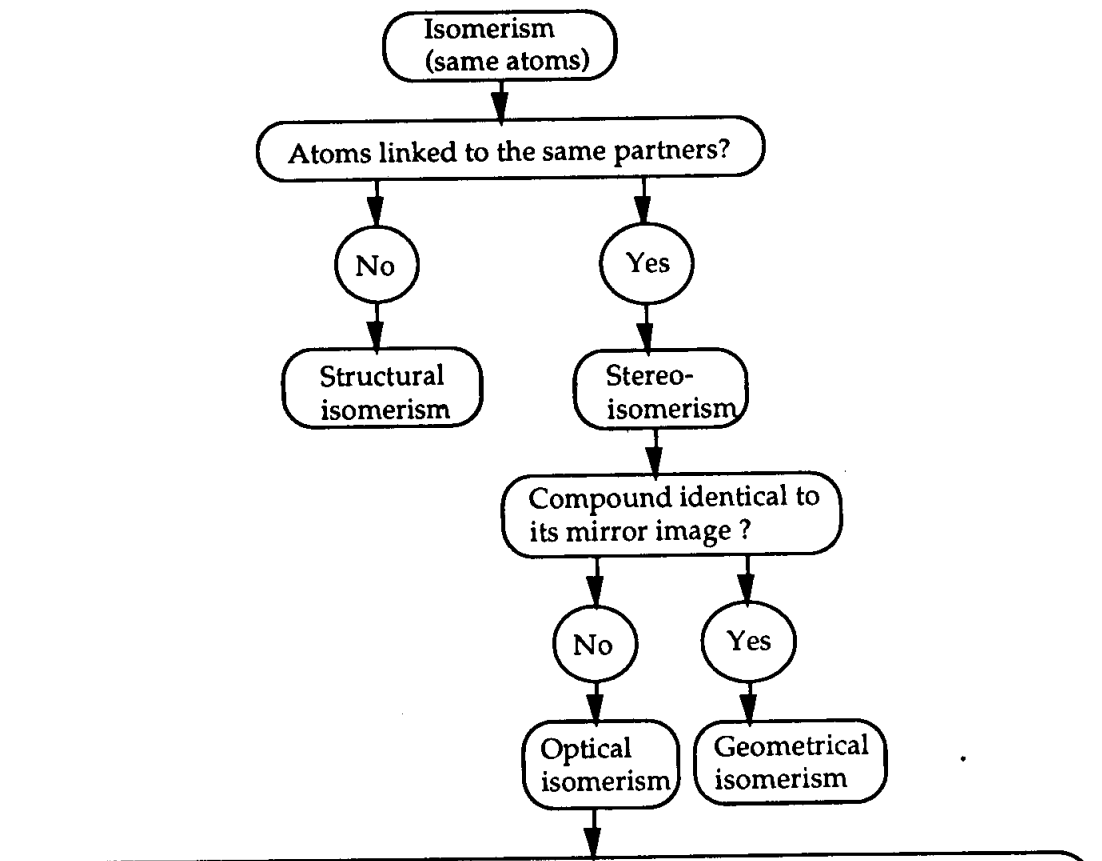
捌、附　錄

附錄一：流程圖

Name: _____ Date _____

I am trying to learn more about how students view a 2-D representation of an object in correspondance to its 3-D structural relation. The following chart shows the different types of isomerism. Please review them before taking the task. Please also THINK-ALOUD while reading this chart so that I know what you are thinking.

Classification of the isomers of organic compounds.



Chiral:
A molecular that is distinct from its own mirror image, as a left hand is distinct from a right hand.

In other words, moleculars that are not superimposable on their mirror images are chiral.

Enantiomers:
Pairs of optical isomers, like pairs of hand.

In other words, isomers that are mirror images of each other are called enantiomers

玖、測試題目

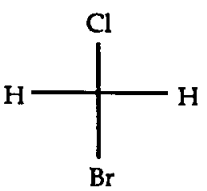
1. Decide whether the amino acid is optically active. Feel free to use molecular model kits.

   $(CH_3)_2C(NH_2)COOH$

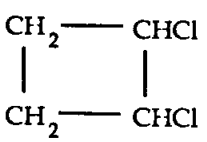
2. Decide whether the amino acid is optically active. Feel free to use molecular model kits.

   $CH_3CH_2CH(NH_2)COOH$

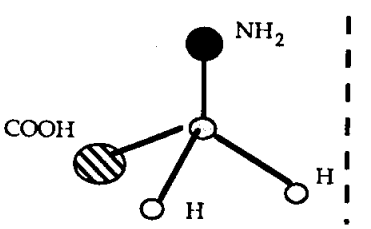
3. Does this compound have geometrical isomers Please explain why there are or why they are not. If there are, please draw them on this piece of paper. Feel free to use molecular model kits to help you verify your answers.



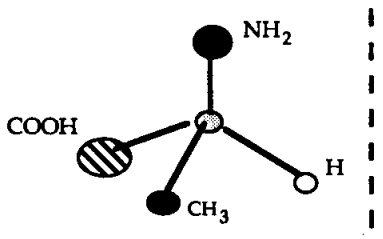
4. Please identify if this compound has any isomers? If so, what type of isomers are they, geometrical or optical isomers? Why? Feel free to use molecular model kits.



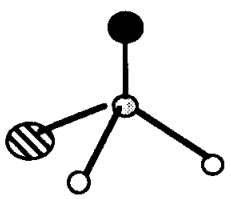
5. Please draw the mirror image and decide whether they are identical? Please explain why they are or why they are not. (Feel free to use molecular model kits.)



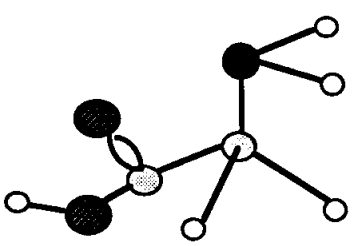
6. Please draw the mirror image and decide whether they are identical? Please explain why they are or why ther are not. (Feel free to use molecular model kits.)



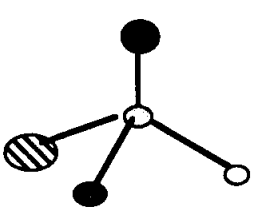
7. Decide if this compound is optically active.
[A REAL MOLECULAR MODEL]



8. Decide whether this compound is optically active. If you have to remodel it, feel free to do so.
[A REAL MOLECULAR MODEL]



9. Decide if this compound is chiral.
[A REAL MOLECULAR MODEL]



Molecular Kits and Problem Solving in Stereochemistry

Mei-Hung Chiu
Graduate Institute of Science Education,
National Taiwan Normal University

Hwa-Wen Fu
Department of Chemistry,
National Taiwan Normal University

Abstract

The focus of this present study was on understanding how students solve problems in stereochemistry. In particular, how students solve problems with different representations of moleculars, and the idiosyncratics of their problem-solving strategies.

Subjects were individually interviewed by the researcher using the think-aloud method. With this method subjects were given tasks and asked to describe how they were solving the task. The data consist of a transcript of each interview and written work the subject produced. All interviews were tape-recorded and videotaped for later transcription and analysis.

The findings suggest that on average, the more successful students outperformed the less successful students in all four types of questions (namely chemical formula, 2D and 3D representations in a paper, and a real molecular model). The biggest difference between the successful students and unsuccessful students was on Type II which required the students to decide what type of isomer a compound is from a planary representation. The biggest difference on their performance indicates that the more successful students were able to transform a 2-D representation to a more useful representation for visualizing spatial relationships among atoms. The smallest difference was on Type IV which provided the students with concrete models for solving problems. This finding suggests that most students were beneficial from receiving 3-D models. One explanation is that it might reduce the students' cognitive load on examining the moleculars from a 2-D perspective.

Key Words: mental models, molecular kits, problem representation, problem solving