

高一學生岩石分類表現之研究

邱美虹 · 侯政宏 · 唐國詩

本研究旨在探討高中學生在岩石分類的表現，並針對高低成就學生表現進行比較與分析。研究對象為10位高一學生，其中高成就組和低成就組各5人，研究者以岩石標本讓學生進行分類，並要求學生以出聲思維的方式表達其想法與分類的準則。本研究之結果發現，高成就組之學生在岩石分類表現優於低成就組之學生，其差異有下列四項：

1. 高成就組在第一次分類時，皆試著依與成因密切相關的外觀把岩石分成火成岩、沈積岩、變質岩三類，而低成就組只是按照非成因的外觀來分類。
2. 高成就組在每一次分類時，只依據一個標準來分類；而低成就組在同一次分類中則有多種不同之標準為依據。而且高成就組能使用較專業之分類標準進行分類。
3. 依岩石三大類分類時，高成就組分類之正確性優於低成就組。
4. 高成就組在分類過程所使用正確之專業術語及推論次數多於低成就組。

關鍵字：分類、岩石、專家特質

Keywords: Categorization, rocks, expertise

壹、緒論

一、研究動機

在探討有關學生學習地球科學的文獻中，所探討的主題大都以天文概念方面為主，如地球形狀和重力關係 (Nussbaum & Novak, 1976; Vosniadou & Brewer, 1992)、日夜成因 (Klein, 1982; Baxter, 1989; Vosniadou & Brewer, 1994)、四季成因 (Baxter, 1989; 邱美虹和翁雪琴, 1995)、日、地、月相對大小 (邱美虹、翁雪琴、陳英嫻, 民82)、月相 (Baxter, 1989; Sadler, 1987; Targan, 1987; Za'Rour, 1976; 王美芬, 民81; 邱美虹、陳英嫻, 1995; 姜滿, 民82)等，較少其他方面之研究，而在地質教育方面的實證研究則相對減少。

此外，有關地球科學分類系統學習之研究亦很少，所以我們選擇了「岩石分類」這個主題，主要是想了解學生在岩石分類表現之差異及學生是否能應用已學習過的岩石分類概念於實際的操作中，以期做為教師在岩石分類這一單元教學之參

考。

二、研究目的

本研究的主要目的，是回答高一學生中，高、低成就學生在岩石分類之表現，並比較以下各點之差異：

- (一)第一次分類時所採用的方式
- (二)分類標準的一致性及其標準種類
- (三)辨認出之岩石標本數及分類之正確性
- (四)分類過程所使用之專業術語及推論

貳、文獻探討

Champagne, Klopfer, Desena, & Squires 等人 (1981) 曾以 13 張寫有岩石方面名詞的卡片，讓 30 個八年級學生聯結，以了解他們在教學前後，所具有之岩石概念結構的差異，結果發現學生經適當的教學之後，會擁有較好的概念聯結。例如，有一學生在尚未接受教學前之知識架構中，僅認為火成岩、沈積岩、變質岩只是不同種類的岩石而已，且其彼此間並無相互聯結之關係；而在教學後，同一位學生之架構則會轉變成火成岩、沈積岩、變質岩這三者岩石的主要分類，而且能聯結出此三者之關係（如變質岩經由成岩作用後可以變成沈積岩等）。然而，他們認為對岩石的了解仍須有實際的觀察、接觸經驗。有較好的概念聯結有助於對岩石之辨認，但並不代表概念聯結好者，其辨認及分類岩石的能力就較佳。所以本研究著重在對岩石標本的實際分類。

在實際辨認岩石方面的研究，Westerback & Azer (1991) 認為，岩石的分類常以所含礦物百分比的範圍為依據，兩種分類上相鄰的岩石，通常只在所含礦物百分比上有些微差距，界限很模糊且肉眼上也難分辨。所以對初學者而言，應該避免分類模糊的岩石，而必須由「典型」的岩石——即具有可當為分類依據之明顯特徵的岩石——開始學習辨認，而這些特徵和岩石的成因有密切的關係（這些也應是課堂上所應強調的概念），所以 Westerback & Azer (1991) 也提出了三大岩石分類的主要分辨特徵，如葉理、層理或生物構造等等。

此外，在觀察學生實際分類岩石情形這方面，Happs (1982) 曾以 34 位 11—17 歲中學生做過這類的研究。他選了 16 個標本（3 個礦物、12 個岩石、1 個人造磚）先對學生進唔談，以了解其概念，然後再讓受試者進行分類。Happs 在唔談當中，亦提供了 13 張寫有地質名詞的卡片，以期儘可能引出受試者在這方面的知識。Happs

研究之主要結果是：學生對於「礦物」和「岩石」名詞的涵義，和科學家所認為的涵義，有顯著不同；而在實際的分類上，僅有少數比例之學生，其分類依據（以岩石成因為依據）能接近科學家之方式—能說出火成岩、沈積岩、變質岩之正確成因的比例依序為 2%、6%、6%。Happs 認為，這是因為大部份學生對於「礦物」和「岩石」的差別並不瞭解，所以他們對於岩石的分類以及火成岩、沈積岩、變質岩這些名詞更無法明瞭。

基於以上討論，我們選擇了已學過岩石分類課程之高一學生（國內地球科學岩石課程安排於國三上學期及高一），並分成高、低成就兩組，以具有典型特徵之岩石標本讓學生進行分類，並比較學生之岩石概念在實際分類上之差異。

參、研究方法與步驟

一、研究對象

本研究以台北市某高中一年級中三個班級的學生為對象，根據該校地球科學科第一次段考成績，成績在該班前 15% 為高成就組，成績在該班後 15% 為低成就組，再由任課教師就教學反應各推薦 5 人（見表一）為本研究之研究對象；高成就組平均成績為 89.6（標準差為 5.55），低成就組平均成績為 58.2（標準差為 3.56），兩組達顯著差異 ($P < .05$)。選擇此項成績為依據，是因為第一次段考範圍包含了岩石分類之課程之故。

表一 高、低成就組學生第一次段考地球科學科成績

	高成就組					平均 (標準差)	低成就組					平均 (標準差)
	H1	H2	H3	H4	H5		L1	L2	L3	L4	L5	
性別	女	男	男	女	女		女	女	男	女	男	
地科成績	89	89	81 ^a	94	95	89.6 (5.55)	55	59	56	57	64	58.2 ^b (3.56)

a: H3 成績為前 26%，但該生上課反應甚佳，為老師特別推薦。

b: one-tail t-test : $t=10.65^*$, $P < .05$

二、研究工具

以國中地球科學課程中教過的岩石為範圍（見表二），並以 Westerback & Azer (1991) 所提之岩石分類特徵為參考，挑選較為典型的三大類岩石標本共 12 個，

岩石名稱及其主要特徵見表三。

表二 國中地球科學課程包含之岩石

火成岩	花岡岩、閃長岩、輝長岩、流紋岩、安山岩、黑曜岩、玄武岩
沈積岩	礫岩、砂岩、粉砂岩、頁岩、石灰岩
變質岩	石英岩、板岩、片岩、大理岩、花岡片麻岩、蛇紋岩

表三 選取之岩石標本之名稱及主要特徵

編號	名稱	主要特徵
#1	片岩	葉理明顯
#2	玄武岩	具明顯氣孔，深色，隱晶質
#3	(粉)砂岩	層理明顯，顆粒大小介於砂岩、粉砂岩之間
#4	黑曜岩	非晶質，玻璃狀光澤，具貝狀斷口
#5	片麻岩	深色、淺色礦物明顯呈葉狀分離
#6	頁岩	顆粒甚細，含三葉蟲化石，並可看出層理
#7	礫岩	顆粒大小約10mm左右，矽質膠結物明顯
#8	花岡岩	石英、正長石、黑雲母結晶顆粒明顯
#9	安山岩	隱晶質，具黑雲母、角閃石及輝石斑晶
#10	大理岩	碳酸鈣質結晶明顯
#11	片岩	具明顯雲母結晶，葉理明顯
#12	砂岩	顆粒均勻大小約 1mm，觸感粗糙

三、研究步驟

本研究於83年11月間曾就2名地球科學研究所研究生及地球科學系學生大一、大二各2名(計6名)進行試驗性測試(選擇研究生的原因是，他們對岩石分類很

熟悉，能由其分類過程看出所選取的岩石標本是否確實具典型特徵；而大一、大二學生除在大一時學過岩石相關課程－普通地質學之外，亦無實際岩石分類的經驗，故假設其分類情形大致高一學生類似），再根據晤談結果，修正所選取之標本及測試之流程（原石灰岩標含礦物再結晶），易被認成變質岩，以 #6 含明顯化石的頁岩取代；原輝綠岩不易辨認，以 #11 具明顯特徵的片岩代替，以使三大岩類標本數目相同）。本研究整個測試流程如下：

- (一)將12個岩石標本呈現於受試者之前，除明確指出其為12個「岩石」標本外，不予任何提示，直接讓學生進行分類；分類時，隨時提醒學生做出聲思維 (think-aloud) 的方式說明分類之理由。
- (二)要求學生嘗試再使用不同之依據，重新分類。
- (三)重覆步驟(2)，直到學生沒有其它分類方法為止；詢問學生何種分類方法最佳並說明理由。
- (四)最後，若受試者採用之分類方式，沒有按照岩石成因相關的外觀為依據，則提示其按此方法是否亦能分類。

四、研究資料來源及分析

在學生分類時同時錄音及錄影，並隨時手記其分類歷程；利用以上所得的資料分析學生的分類表現及概念上之差異。

肆、結果與討論

一、第一次分類時採用的方式

由於大部分的學生皆認為其第一次的分類為最佳的分類方式，顯然第一次的分類最具有代表性。在高成就組中，除了一人(H2)外，其他四人皆按與成因相關的外觀為首次分類的依據，將岩石分成三大類。H2一開始時，則以非成因的外觀分類，而在其第三次分類時，已採用部分成因的外觀之標準（一部分仍採非成因外觀標準），仍須測試者提示，才能依成因的外觀進行分類。

低成就組方面，首次分類時，五人都採「非成因的外觀」為標準（如顏色、條紋、顆粒大小），只有一人(L4)採一部分與成因相關的標準（火山岩）和其他非成因外觀的標準為共同分類依據。整個分類過程中，L5在第三次分法自行採用與由以上的比較看來，我們發現，高成就組較傾向於使用科學家的方式分類，而低成就組則採非科學家的方式來分類。可見高成就組對所學過的地科知識能保留較久，並

能應用於實際分類工作。

二、分類標準的一致性及其標準種類

高、低成就組各次分類依據見表四。由表四中，高成就組在分類時，其所採取之標準和低成就組有以下兩點不同：

(1)能採取單一之外觀特徵，如：

H4 在其第二次分類是以顏色為標準，分成：

(#2, #4, #6) — 顏色最深

(#1, #5, #7, #8, #11) — 顏色有變化，不單純

(#3, #9, #10, #12) — 顏色最淺

H3 在其第三次分類時，以光澤為標準，分成：

(#4, #11) — 會反光，其餘 — 不會，共兩組

(2)能使用較專業的標準將標本明確分類，如：

H3 在第五次分法時，以有無化石為標準，分成：

#6 — 有化石及其餘 — 不含有化石兩組

H1 在其第二次分類時，以是否含有明顯礦物結晶為準，分成：

(#5, #7, #8, #9, #11) — 有結晶，其餘 — 沒有明顯結晶，共兩組

但低成就組在同一次分類時，並不能採用同一特定之標準來分類，例如：若以外觀來分類時，仍有一些組群之分類未按照此一標準來進行，而且他們所採用之外觀特性如：顆粒大小、排列方式、顏色深淺等，在同一次分類中均同時出現。如：L2 在第一次分類完時，問其為什麼把標本分成如此，其回答如下：

(#8, #11) — 顏色組成都比較雜，在燈光下看起來有反射的感覺

(#7, #9) — 它們都是不規則的，石頭有大有小

(#3, #5) — 都是條紋，都蠻規則的

(#2, #12) — 它們摸起來感覺都很細，且兩個都是素色沒什麼雜色

(#4) — 因為它的顏色很亮啊

(#6) — 因為它有化石

(#1, #10) — 剩下的，不能分的

根據上述結果顯示，高成就組較能根據一定的標準進行有系統的分類，且使用較多專業的分類依據；而低成就組在同一次分類時，常同時採多種依據分類，且這些依據大多為明顯的外觀特徵。

有關分類的研究，Chi, Feltovich, & Glaser (1981) 曾以許多物理問題給予專家和生手進行分類，發現生手僅是按照題目所含圖形的外觀形狀分類，如：圓盤狀的歸成一類，含有斜面的歸成一類；而專家依題目是採何種定律解答為分類依據。此結果和前述一低成就組多以外觀分類，而高成就組採較專業的依據分類一之結論是一致的。

兩組分類之次數如表五所示。由表五中可知，高成就組在分類上較低成就組採較多岩石屬性的分類方法（前者合計為20次，後者為15次；兩者無顯著差異， $t=1.29, P=.117$ ），其中L3 僅就顆粒大小為分類之判準。

表四 高、低成就組各次分類依據

次數\組別	高成就組					低成就組				
	H1	H2	H3	H4	H5	L1	L2	L3	L4	L5
一	成因的外觀	顏色, 花紋	成因的外觀	成因的外觀	成因的外觀	結晶, 花紋	顏色, 條紋, 觸感, 化石, 標本大小	顆粒	顏色, 粗細, 成因的外觀	粗細 (觸摸)
二	礦物結晶	粗細 (觸摸)	顏色	顏色	顆粒, 花紋	顆粒, 氣孔, 光澤, 顏色	顏色		氣孔, 觸感, 化石, 顏色	顏色
三	顆粒大小 (觸摸)	成因的外觀, 非成因的外觀	光澤	結晶顆粒	顏色	顏色	顏色明暗		成因的外觀, 氣孔	成因的外觀
四	形狀	粗細 (觸摸)			粗細 (觸摸)	形狀				孔隙, 密度, 褶皺, 粗細 (觸摸)
五		化石有無								
六		層理有無								

表五 高、低成就組分類次數表

	高成就組					低成就組				
	H1	H2	H3	H4	H5	L1	L2	L3	L4	L5
次數	3	4	6	3	4	4	3	1	3	4
合計	20					15				

a: one-tail t-test : $t=1.29$, $P=.117$

三、辨認出之岩石標本數及分類之正確性

由表六中可知，高成就組辨認出標本名稱之個數平均為 3.6 個 (30%)，低成就組平均 2.0 個 (16.6%)，而高成就組中有二位辨認出超過 40% 的岩石名稱，而低成就組皆低於 30%；但值得注意的是，高成就組有兩位學生 (H2 和 H4) 的表現卻與低成就組學生類似，辨認出極少的岩石。這樣的結果支持 Champagne et al. (1981) 所言，雖然高成就組學生擁有較豐富的岩石知識，但不一定保證他們能實際辨認出岩石標本。誠如 Anderson (1987) 所言，將何將陳述性知識轉換成程序性知識 (辨認標本) 是一個重要的認知過程。

由表六中還可看出，在 12 個標本中有的很容易被辨認出 (如 #4)，但仍有五個 (41.7%) 標本沒有任何一個學生能辨認出 (如 #1、#3)；#2 和 #7 僅有高成就組能辨認出來，而 #8、#10、#12，兩組學生中均有人辨認出來，但仍以高成就組較優。

由表七中，將岩石標本依成因分成三大類之正確性方面，高成就組分類之正確性在 12 個測試標本中平均分對了 10 個 (83.3%)，低成就組則為 7 個 (58.3%)，在此部分高成就組顯然優於低成就組 (且每一位皆如此； $t=4.74$, $P<.05$)。

上述之結果中兩組分類正確之比例 (高成就組：83.3%，低成就組：58.3%)，與 Happs(1982) 的研究一能說出三大岩類正確成因的學生之比例不超過 6% 一高出許多。其原因是學生只要能辨認出標本中，三大岩類之部分特徵即可將其正確分類，如 #1 和 #3 雖然沒有任何一位學生辨認出其名稱，但是 #1 具有明顯之提學生對「礦物」、「岩石」之差異性的理解，並不影響學生分類之正常性；而 Wester back & Azer(1991) 所提一具典型特徵之岩石標本有助於學生學習、辨認，也是高、低就組分類高正確比例之重要原因。

表六 標本被辨認出之次數及其百分比

	高成就組						低成就組						合計
	H1	H2	H3	H4	H5	平均	L1	L2	L3	L4	L5	平均	
1 片岩													0
2 玄武岩		✓			✓								2
3 砂岩													0
4 黑曜岩	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		10
5 片麻岩													0
6 頁岩									✓				1
7 礫岩	✓				✓								2
8 花崗岩	✓				✓				✓				3
9 安山岩													0
10 大理岩	✓		✓		✓				✓				4
11 片岩													0
12 砂岩	✓		✓	✓	✓		✓				✓		6
合計	5	1	4	2	6	3.6	2	1	3	2	2	2.0	28
百分比	41.7	8.3	33.3	16.7	50.0	30.0	16.7	8.3	25.0	16.7	16.7	16.7 ^a	

a: one-tail t-test : $t=1.63$, $P=.082$

表七 標本依岩石三大類分類之正確個數及其百分比

	高成就組						低成就組					
	H1	H2	H3	H4	H5	平均	L1	L2	L3	L4	L5	平均
個數	11	9	9	11	10	10	6	6	7	8	8	7
百分比	91.7	75.0	75.0	91.7	83.3	83.3	50.0	50.0	58.3	66.7	66.7	58.3 _a

a: one-tail t-test : $t=4.74^*$, $P<.05$

四、分類過程所使用之專業術語及推論

由表八中可比較出，高成就組比低成就組使用較多正確之專業術語（高成就組：64；低成就組：37； $t=2.44, P<.05$ ）；而且高成就組使用的錯誤術語也較少（高成就組：8；低成就組：11； $t=-.55, P=.30$ ），但後者未達顯著差異。在專業術語之中，兩組較普遍提到的如：黑曜岩、化石、氣孔…等；而高成就組中，則提到一些低成就組所沒有提的術語，如：葉理、火山玻璃、斑狀組織等。例如，在辨認 #4 之岩石，低成就組直接說出黑曜岩之名稱，而高成就組中還會說出它具有玻璃光澤；在辨認 #9 時，低成就組只能比較結晶顆粒大小，而高成就組還會說出斑狀組織；在辨認 #11 時低成就組僅會說出其外觀有平行排列，而高成就組則還會說出它具有葉理。

同樣地，高成就組在推論方面的表現，也較低成就組為優。學生在正確推論的表現：高成就組共 34 次，低成就組共 16 次（ $t = 2.02, P<.05$ ）；在錯誤推論的表現：高成就組共 2 次，低成就組共 7 次（ $t = -2.13, P<.05$ ，見表八）。兩組中較常提到的推論如「因為它有化石，所以它是沉積岩」、「變質岩是有經過溫度、壓力之作用變質而成」；而高成就組中還提到「變質岩有一些葉理，礦物緊密結合」、「黑曜岩是岩漿迅速冷卻形成，無結晶也沒有氣孔」等，是低成就組中所沒有提到的。

造成此種差異之原因是，高成就組除了具有較佳之先備知識外，也較瞭解各專業術語間概念聯結的關係，所以才能說出岩石外表特徵中較難辨認出的一些特性，也才能做出較多正確之推論。這和 Champagne et al.(1981) 之研究，認為學生經適當教學後，會有較好的概念聯結，其結果是一致的。

表八 高、低成就組所說出之專業術語及推論次數表

		H1	H2	H3	H4	H5	合計	L1	L2	L3	L4	L5	合計
專業術語	正確	13	6	14	13	18	64	9	4	6	10	8	37 ^a
	錯誤	0	2	2	1	3	8	6	1	1	2	1	11 ^b
推論	正確	1	8	9	9	7	34	5	1	2	6	2	16 ^c
	錯誤	0	1	1	0	0	2	2	2	1	2	0	7 ^d

a: one-tail t-test : $t=2.44^*$, $P<.05$

b: one-tail t-test : $t=-.55$, $P=.30$

c: one-tail t-test : $t=2.02^*$, $P<.05$

d: one-tail t-test : $t=-2.13$, $P<.05$

伍、結論

綜合本研究之結果，研究者發現，高成就組和低成就組主要的差別是：在第一次分類時，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依據；而高成就組在分類時，較能採用一致的標準進行分類，且能使用較專業之分類依據，低成就組則在一次分類中常有多項標準，且只能採明顯外觀為分類依據。

此外，在整個分類過程中，高成就組中有兩位辨認出較多之標本名稱，而分類正確性方面，高成就組則顯著優於低成就組；在解釋分類原因時，研究者也發現：高成就組所使用之正確推論及專業術語的數目亦遠較低成就組為多，顯示其具有較佳之岩石知識概念間之聯結。而在分類次數方面，兩組則沒有明顯差別。

陸、建議

根據本研究之結果，研究者建議：教師在教授岩石這一單元時，應選擇具典型特徵的岩石標本讓學生學習辨認，如此應會有較好的教學成效。

另外，本研究中，有些受試者在測試過程，對於一面嘗試分類、一面說出理由的方式較生疏（在高、低成就組中皆有此情形）；因此，往後的研究可在正式測試前讓學生多練習，以使其熟悉測試方式，或可使學生減少直覺式的辨認而能多以語言表達，讓研究人員能有更深入的了解。

未來關於學生岩石分類表現之研究，研究者建議：除了以具典型特徵之標本外，可先以適當的評量分類能力之工具做一前測，再進行岩石分類測試，以了解學生一般分類能力之程度對其學習岩石分類是否有影響；同時，本研究在文獻探討中提過，Happs (1982) 認為學生對岩石、礦物差異之不了解，對其岩石分類的學習造成障礙；然而本研究之受試者對岩石標本分類之正確性頗佳，故往後的研究可先以另一組標本（含礦物及岩石）進行前測，讓學生分成礦物、岩石兩類，之後再進行本研究之測試，以了解 Happs (1982) 研究結果所提之影響程度。最後，本研究再一次強調學生在學習岩石這一單元時，除了必須瞭解概念間的聯結外，也應有實際辨認岩石的經驗，如此才能將所學的知識生活化。

參考書目

- 王美芬（民81），我國五、六年級學生有關月亮錯誤概念的診斷及補救教學策略的應用，**臺北市立師範學院學報**，第二十三期，357-380頁。
- 邱美虹、翁雪琴（民84），國三學生「四季成因」之心智模式與推論歷程之探討，**科教學刊**，第三卷，第一期，23-68頁。

高一學生岩石分類表現之研究

- 邱美虹、翁雪琴、陳英嫻 (民82)，孩童對「星星」的心智模式。中華民國第九屆科學教育學術研討會論文彙編，125-146頁。
- 邱美虹、陳英嫻 (民84)，月相盈虧之概念改變，師大學報，第四十期，509-548頁。
- 姜滿 (民82)，國小學童地球科學概念之理解，臺南師院學報，第二十六期，193-219頁。
- 國立編譯館 (民83)，高中基礎地球科學，17-40頁。
- 國立編譯館 (民82)，國中地球科學上册，20-50頁。
- Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94, 2, 192-210.
- Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11, 502-513.
- Champagne, A.B., Klopfer, L.E., Desena, A.T., & Squires, D.A. (1981). Structural representations of students' knowledge before and after science instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 97-111.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Happs, J.C. (1982). Rocks and minerals. *Science Education Research Unit. Working paper No. 204*, Waikato Univ., ED230594.
- Klein, C. A. (1982). Children's concepts of the earth and the sun: A cross cultural study. *Science Education*, 65, 1, 95-107.
- Nussbaum, L. & Novak, J. D. (1976). An assessment of children's concepts of the earth utilizing structured interviews. *Science Education*, 63, 1, 83-93.
- Sadler, P. M. (1987). Misconceptions in astronomy. *Proceedings of the International Seminar on Misconception in Science and Mathematics*, 422-425. Cornell University, Ithaca, New York.
- Targan, D. (1987). A study of conceptual change in the concept domain of the lunar phases. *Proceedings of the International Seminar on Misconception in Science and Mathematics*, 499-511. Cornell University, Ithaca, New York.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the Day/Night Cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Westerback, M.E., & Azer, N. (1991). Realistic expectations for rock identification. *Journal of Geological Education*, 39, 325-330.
- Za'Rour, G. I. (1976). Interpretation of Natural Phenomena by Lebanese School Children. *Science Education*, 60, 2, 277-287.
- 邱美虹，美國哈佛大學教育博士，國立台灣師範大學科學教育研究所教授
- 侯政宏，國立台灣師範大學地球科學研究所碩士（科學教育組），台中縣立中平國中教師
- 唐國詩，國立台灣師範大學地球科學研究所碩士（科學教育組），國立台東體育實驗中學教師