

數學專題合作學習中創意的經營與評量

洪碧霞* 陳沅** 林宜樺***

數學專題學習提供更開放、真實的學習情境，尊重學生不同的專長背景與學習取向，其中合作式學習更是專題學習經營的主流。本研究的目的是在探討數學專題合作學習中創意經營與評量的效益，研究中藉由歷程評量的監控與回饋，支持小組成員間開放而豐富的互動歷程，協助學生追求數學概念的多元激盪與共識進展。本文以參與數學專題合作學習兩到三年的實驗樣本為依據，擇取其中兩組學生為案例，說明如何在系列專題學習中以歷程評量的取向，提供學習的綱要規範與支持鷹架，持續而系統的記錄國小學生專題合作學習討論與書面報告中創意的進展狀態。本研究討論能力的評定包含尊重的態度和中肯的發言；書面報告包含數學概念與表徵創意。研究中操作性界定數學創意為討論時發言切題，並能以新鮮有趣的例子說明數學的概念；書面報告中概念清晰豐富，並能以多元的表徵進行解釋或是能提供獨特而富參考價值的結果資訊。經由五項專題學習的歷程紀錄顯示，參與數學專題合作學習學生討論語錄與書面報告中數學的創意確實呈現實質的進展。與家長、學生訪談紀錄也顯示，專題合作學習的活動深獲得支持與認同。隨著專題合作學習經驗的累積，學生數學發言多能漸趨中肯、有趣；書面概念表徵也逐漸更為適切、清晰、多元、並富參考價值。專題小組成員間多元的背景和想法，為學習注入新的活力；歷程評量回饋讓專題活動的觀摩激勵效能尤其顯著。國小學生數學創意的激發，不是一蹴可即；本研究顯示採專題合作的學習取向，佐之以適切的歷程評量，持續而誠懇的支持和回饋，創意可以植根萌芽。

關鍵字：數學專題、創意教學、歷程評量

*本文作者一為國立臺南師範學院測驗統計所教授兼所長

**本文作者二為台南市永福國小教師

***本文作者三為高雄市莒光國小教師

壹、數學專題合作學習與數學創意

一、國小學生數學創意的培育亟需支持與引導

Wallach 和 Kogan (1965) 的研究指出創造力與智力是不同的結構，就心理計量文獻顯示擴散性思考與創造力之間有較密切關係存在。Gardner (1993) 認為創造力不等於智力，強調其獨立評量的重要性，也開啟了「創造力－擴散性思考」測量的先河。美國的教育改革報告書中提及「教育改革的最終目標是培育出富思想的國民和學習者，使其能在每日所做的事物中，進行良好的批判思考」(Adler, 1986)。Sternberg 和 Lubart (1995) 也提到，美國許多學校教師正逐漸將其教學策略和取向，轉化為包涵並強調高層次思考的目標。Swartz (2003) 提到如何進一步將創意思考融入例行正式教學，亦即重新建構協助發展思考的課程內容，提昇學習的效能，是未來教學改革的重點。換言之，如何透過更富效能的教學來提高學生的創造力，是世界各國新一波教育改革努力的目標。

二、數學專題合作學習利於自主探索能力的培育

Basili 和 Sanford (1991) 提到在專題學習的歷程中，學生常能透過小組合作和討論協商的實際經驗，提昇他們對小組氣氛的掌握及運作能力，使整個學習歷程更有意義。專題學習能提供真實的學習環境，幫助學生發展溝通、表徵、模式和推理的能力 (Erickson, 1999; Smith, 1998; Lubinski, 1999)。Krajcik, Czerniak, & Berger (1999) 也認為專題學習以多元的方式進行學習活動，更能充分展現學生豐富而異質的能力。活動中常藉由開放性問題

的探討，更能兼顧學習的歷程與結果。Buck Institute of Education (1999) 指出專題學習能同時提供學生合作學習與獨立學習的環境，讓學生在充滿支持的環境下，充分與他人分享概念，發展合作時所需的社會技能，養成自知與自信的態度。在專題學習中，學生是自己學習的主人，從問題的決定，計畫書的規劃與執行，學生擁有較大的自主權。專題合作學習進行時，開放的情境讓學生更有動機運用各種資源或工具，學生也更容易與其他學生、教師、甚至社群中其他人員互動合作，因此常能形成一個探索的社群(鄒慧英, 2000)。Kyeong (2003) 指出專題學習是一種教學的策略，可藉由開放或真實問題解決的方式，提供學生更多批判性思考的機會，利於呈現學生獨特的創意，也方便學生與同儕進行充分的數學性溝通，是數學教學革新可參考的取向之一。專題學習歷程包括問題的形成、探討計畫書的執行、和結果報告分享等，期待學生在小組互動中學習與創意的進展尤其是專題學習經營的重要目標。

三、以歷程評量作為學習經營的鷹架與回饋

經驗對學生數學知識的統整與彈性應用呈現顯著的提昇效益(如林宜樺, 2003 ; Boaler, 1998 ; Cobb, Wood, Yackel & Perlwitz, 1992)。這類歷程取向的學習活動最需要的就是與其學習理念一致的評量回饋，否則的話常會導致學生無法有效掌握學習的目標，折損學習效能 (Bransford, 1997; Boaler, 1998; Hmelo, Gotterer, & Reynolds, 1997)。專題學習中的歷程評量能及時而適性的支持學生進行有規範有目標的學習，同時又能以不干擾學習的方式，系統而持續的蒐集學生學習過程的相關資料，用以描繪學習者在專題學習歷程的進展概況。教師透過學生在活動進行中所產生的合作討論與作業評定，建構學生專屬的學

習歷程軌跡，全觀而扼要的呈現學生學習的參與和重要里程碑。學習歷程評量不單只是收集和評定作業，尤其重要的是即時的溝通與回饋。換言之，學習歷程評量不只是「記錄」，更應是藉由這些學習表現變異的評定，具體溝通學習的目標與教師的期待，對國小學生的專題學習而言，歷程評量的適時溝通尤其具有引導、激勵和監控的重要功能。

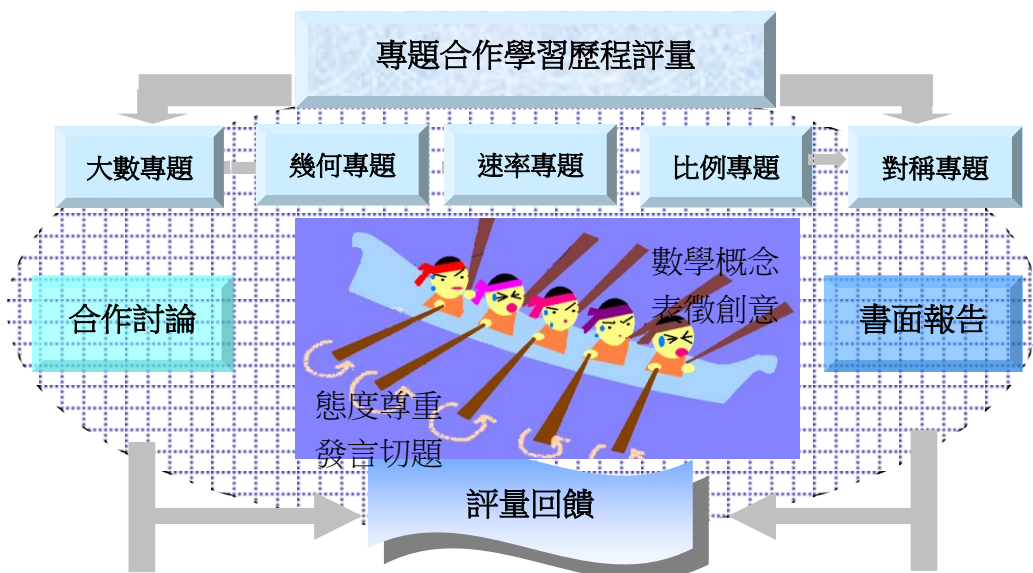
本研究即以歷程評量的規劃和執行為鷹架，探討學生在系列數學合作專題學習中討論和作品的創意進展概況。研究中擇定參與五期專題學習的兩組國小學生為案例，文中依序說明專題學習歷程中合作討論和作品創意評量的內涵與規準，本研究同時以兩組學生初期和後期的討論語錄和結果報告的進展實例，對照呈現該評量設計的初步試用效能。

貳、數學專題合作學習跨組討論評定量表的發展與應用

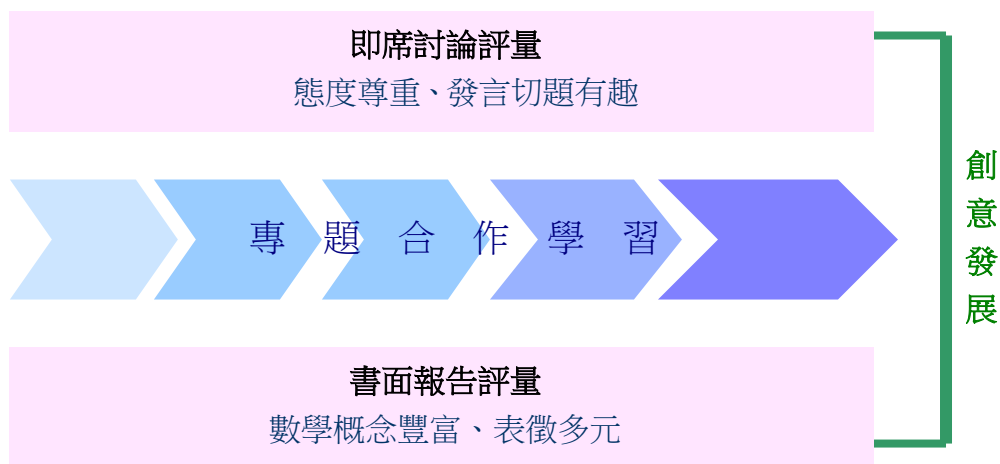
合作討論能力是專題學習重要的取向，本研究採小組合作討論進行數學專題學習長達二至三年，藉由跨組討論的溝通機制，探討學生在數學創意的表現。合作分組方式主要以年級為依據，採組間同質組內異質的原則，每組人數在 4~6 人。每一專題學習的歷程進行五次跨組討論，包括驅動問題、計畫書初稿、計畫書定稿、專題實測與專題學習結果報告等討論議程。

一、專題學習跨組討論流程

跨組討論的運作經營，由小組長帶領組員針對討論議題進行組內合作討論，再協商與彙整出具體的小組結果。小組長由各組學生輪流擔任，其職責是在跨組討論時，代表小組上臺報告，並接受各組學員提問。圖一、圖二呈現本研究經營跨組討論的流程與創意評量，跨組討論分為三階段，首先由各組針對主題進行組內合作討論，其次是小組長彙整組內結果進行報告，最後進行現場立即對談與回饋。



圖一 數學專題合作學習活動與評量融合示意圖



圖二 專題合作學習數學創意歷程評量圖示

二、專題合作學習跨組討論能力的

評定內涵與規準

數學專題合作學習跨組討論的內涵聚焦在數學互動能力，評定項目分為態度尊重與發言切題兩個項目。跨組討論能力評定的實施，是針對討論現場觀察與語錄進行評定。初期學生提問都不踴躍，現場觀察計分以對談次數為主要變異來源。後期討論情況漸佳，互動內容清晰、切題，與生活關連或新鮮、有趣的程度成為主要變異來源。評定等級分為優、良、可，依序計量為 3、2、1 分，表一為專題學習跨組討論評定內涵與評定規準說明。

三、專題合作學習跨組討論創意的評定與回饋示例

本研究藉由參與專題的兩小組跨組初期討論語錄與評定，探討專題學習在跨組

討論的創意經營效能。表二為 2001 年 3 月兩小組學生進行跨組討論時的對談語錄示例，學生在第一期進行跨組討論的能力略顯生疏，提問的主動性不足，提問時尊重的態度多所不足，提問者常無法針對發表組別提出適切的正面回饋，提問的語氣充滿懷疑，雙方互動氣氛帶有負面情緒，尊重禮儀多待提醒，報告組對別人的問題或回饋，也多無法認真思考，常有鬥嘴或失焦的場景。隨著跨組討論經驗的累增，後期的即席互動多能呈現準確與尊重的學習討論行為。由專題合作學習跨組討論創意的評定示例（同時參閱表三和圖三），顯示在第三期專題討論時學生在態度尊重與發言切題兩分項評定中的分數，皆明顯優於第一期。

表一 跨組討論能力評定內涵與規準

評定能力	評定項目	評定規準		
		優	良	可
互動能力	態度尊重	互動態度溫和尊重，能欣賞別人討論的優點做正向回饋	互動態度溫和尊重，但沒能提出他人適切的回饋	無法以尊重態度進行討論，亦無法提出他人適切的回饋
	發言切題	互動內涵切題，能以適切有趣新鮮的例子清晰表達概念	互動內涵切題，但未能以適切例子清晰表達概念	互動內涵無法聚焦，亦未能以適切例子清晰表達概念
分 數		3 分	2 分	1 分



圖三 專題合作學習跨組討論示例

主題文章

表二 專題一跨組討論（2001年3月）語錄與評量示例

發表主題【台灣的毒蛇有幾隻？】

報告組別：第一組

提問組別：第二組

態度尊重分項評定為「可」，得分為 1 分

發言切題分項評定為「良」，得分為 2 分

特 徵：出現負面情緒性語句，無法提供適切回饋

提問	你們的問題有點可笑，因為你們根本不可能完成。
----	------------------------

回 答：我們認為可以試試看。

提 問：我認為你們這個問題根本沒辦法做？

回 答：我們就是要去做？

提 問：你們真的要去把台灣的毒蛇一隻一隻抓出來數一數？

回 答：對，我們就是要把台灣的毒蛇一隻一隻抓出來數一數。

結果：第一組不願意修改驅動問題，堅持進行這個主題，進行一個月後，無法繼續進行下去，最後驅動問題修改為【台灣毒蛇的種類有多少？】，並在專題學習結果報告時，針對先前的驕傲態度主動認錯。

表三 專題三跨組討論（2002年12月）語錄與評量示例

發表主題【雲霄飛車在什麼情況跑得最快？】

報告組別：第二組

提問組別：第一組

態度尊重分項評定為「優」，得分為3分

發言切題分項評定為「良」，得分為2分

特 徵：提問與回答之間態度尊重，激發出多種有創意的實測方式。

提問	我們不知道你們在雲霄飛車飛得很快時，怎樣進行實測？
----	---------------------------

提 問：為什麼你們要選擇悟智樂園，不選擇別的地方的雲霄飛車。

回 答：因為我們的經費有限，所以只能去比較近的地方。

提 問：我們不知道你們在雲霄飛車飛得很快時，怎樣進行實測？

回 答：因為悟智樂園的雲霄飛車是壞的，所以我們想要去那裡進行實測，然後再按造比例作一個模型，再用模型來進行有關速率的專題研究。

提 問：請問你們的模型要怎樣做？

回 答：我們想要去找一些材料來做，我們有考慮很多種材料，那種能彎彎的軌道還沒有找到。

提 問：我建議你們可以到美術社找一找，那邊有很多材料。另外你們的魔鬼計畫裡說到要觀察順風和逆風的影響，但是天氣很難控制。

回 答：謝謝你們的建議，我們想要利用電風扇來製造風。

提 問：我還有一個疑問，雲霄飛車可能很高，那麼高你怎麼測量呢？

回 答：ㄣ...ㄣ...我們沒有考慮到這個問題。

老 師：有沒有人能幫忙想出好方法來測量比較高的東西？

甲 生：我建議你們用一條長繩綁在一隻動物的尾巴上，讓動物爬到最上面再讓繩子垂下來，這時候就可以測量了。

乙 生：我覺得可以用貓來測量。

丙 生：我覺得用松鼠比較好。

老 師：你們這一組覺得別人的建議怎樣？

第二組另一位同學舉手要求代替小組長回答

回 答：我想到另一個比較簡單的方法，就是利用竿影來測量。我們可以用一枝棍子插在土裡，量它的影子長，再量雲霄飛車的影子長，就可以測量出來了。

參、數學專題小組書面報告評量的發展與應用

一、數學專題小組書面報告評分者一致性

本研究探討參與五期專題的兩組學生在專題學習歷程中書面報告創意的進展概況，表四呈現兩組學生五項專題的探究主題。數學專題合作學習的書面報告由兩位帶領專題的教師進行評定。整體而言，本研究初步研發的小組專題書面報告創意評量設計，兩評定者在整體評定一致性為 0.87。在概念分項評定一致性為 0.93；在表徵創意的分項評定一致性為 0.80。

二、小組書面報告的評定內涵與規準

數學專題合作學習書面報告創意評定包括數學概念、表徵與創意兩項，本研究針對參與專題學習長達二年多的兩組對稱

篇五個內容領域的學習，前三項的專題學習例行每週在面對面情境進行，後兩期採網路合作學習，網路專題合作對象為臺南市與高雄市兩校同年級學生，雙方學生透過阿 P 學員 (<http://yp.ntntc.edu.tw>)，在歷程中所完成的五件書面報告進行創意評定。其中概念評定內涵為準確性、豐富性與重要性等；表徵評定內涵為多元性與獨特性等。表五呈現數學專題合作學習書面報告評定內涵與規準。

三、書面報告創意成長分析

兩組學生在三年專題合作學習中計參與大數篇、幾何篇、速率篇、比例篇與對稱篇五個內容領域的學習，前三項的專題學習例行每週在面對面情境進行，後兩期採網路合作學習，網路專題合作對象為臺南市與高雄市兩校同年級學生，雙方學生透過阿 P 學員 (<http://yp.ntntc.edu.tw>)，進行融入式學習。圖四呈現兩組學生在系列專題合作學習書面報告概念項目表現剖面對照，圖五呈現兩組學生在系列專題合作學習書面報告表徵項目表現剖面對照

表四 兩組學生專題合作探究的驅動問題對照

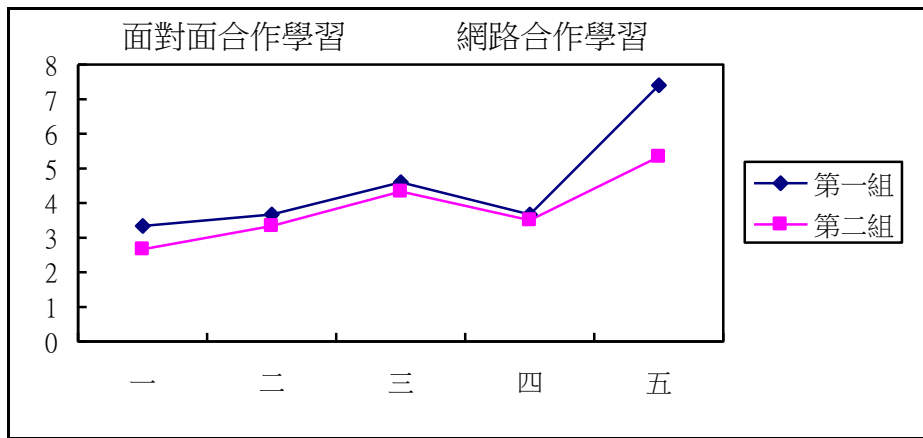
專題領域	發表主題		年級
	第一組	第二組	
大數篇	漁塢裡的魚鱗有幾片？	台灣毒蛇的種類有多少？	四
幾何篇	動態幾何如何天旋地轉？	滾滾滾！如何滾出多爾滾？	五
速率篇	雲霄飛車在什麼情況跑得最快？	哪一種游泳方式游得最快？	五
比例篇	在小石子的眼裡新光三越有多大？	戰鬥陀螺怎樣玩才能轉得久？	六
對稱篇	對稱的飛機才能飛得又高又遠嗎？	如何設計N角大廈才不會被恐怖份子炸毀？	六

表五 小組書面報告評定內涵與規準

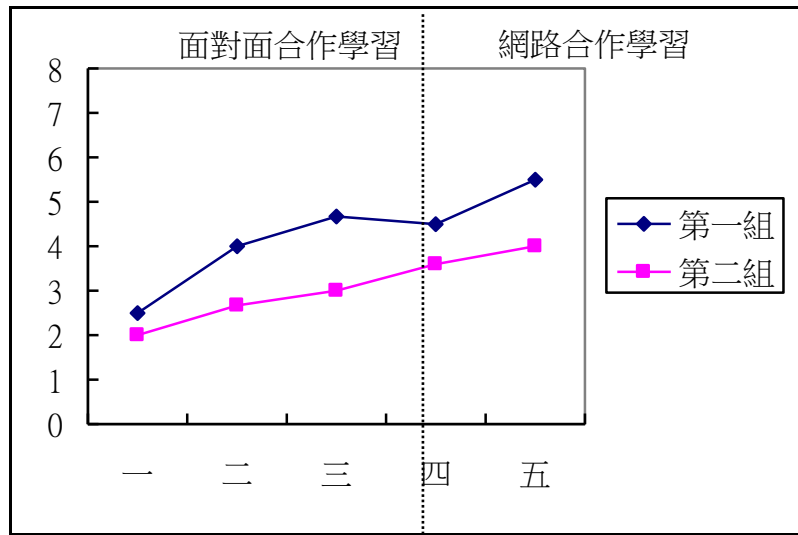
評定能力	評定項目	評定規準		
		優	良	可
報告內涵	數學概念	概念表達清晰與主題契合，能統整豐富的資訊支持推論	概念表達尚屬清晰，說明合理，但採用單一資訊支持推論	無法清晰表達概念，且未能提供資訊支持推論
	表徵與創意	呈現多元解題策略，結果說明與生活經驗連結或能提出富參考價值的資訊	呈現多元解題策略，但無法提出與生活經驗連結的說明或獨特的參考資訊	解題策略單一，結果說明缺乏生活經驗連結或提出獨特可供參考的資訊
分 數		3分	2分	1分

兩組學習書面報告表徵項目表現剖面對照。兩組學生在各期的專題學習書面報告的作業表現，大抵隨經驗數的增加，有逐漸提昇趨勢。惟在第三期與第四期之間略有降低，可能因為由教室情境轉為網路合作學習，學生對學習夥伴與學習環境的掌握，皆需時間適應。由兩組剖面對照圖，可發現第四期與第五期在概念的分項表現

上的進步幅度超越前面幾期，可能網路化的資源與跨校合作，有助學生開拓學習視野。由專題書面報告中，可見藉由網路溝通環境，聯絡異質的成員，對學習創意的經營可能有更明顯的助益，這項觀察應值得後續以實驗研究的方法進行探討。



圖四 學生在系列專題兩小組書面報告中數學概念進展剖面對照



圖五 兩組學生在系列專題兩小組書面報告創意進展剖面對照

四、書面報告創意的評定與回饋示例

(一)第一期和第五期書面報告中的概念構圖對照

以下呈現小組在專題學習書面報告示例，表六、表七呈現同一組學生在初期和後期書面報告中的概念構圖對照。第一期學生進行的驅動問題為「漁塭裡的魚鱗有幾片？」，書面報告中，概念構圖僅呈現單一實測構想資訊，構圖中未出現專題中的相關概念，亦未出現多元表徵與創意；第五期學生進行的驅動問題為「一定要有對稱的飛機才會飛得又高又遠？」，相較於前者，學生在書面報告中對概念構圖的應用，顯得多元與豐富，除了呈現與他校進行網路專題學習時，兩校在概念構圖的衝突與協商歷程，亦能由他人的建議中反思與修訂，有效運用概念構圖輔具。更令人驚異的是學生自發的以概念構圖輔具表徵專題結果發表的分工規劃藍圖，讓兩校學生的分工協商，清晰有效。

(二)第一期和第五期書面報告中生活經驗連結的對照

數學專題學習提供真實性的學習情境，有助於學生的學習與生活經驗連結，表八呈現同組學生在初期與後期書面報告中的生活經驗連結創意對照，由初步對照中，無論第一期與第五期學生皆能將專題的學習，脈絡至真實生活中的素材與經驗。惟在數學概念相呼應程度，略顯差異。初期在吳爺爺漁塭訪問記錄，呈現學生對週遭生活的關懷，令人激賞，但與大數的概念較無直接關連。第五期學生將實地觀察中，發現對稱物品高度融入日常生活中，與對稱主題直接而高度的關連，呈現豐富而多元的學習。表九呈現學生在後期書面報告中以動態幾何作為生活經驗連結創意示例，亦支撐以上所述。

(三)中期和後期書面報告中動態幾何(GSP)輔具運用創意的對照

學生在中、後期的書面報告利用 GSP

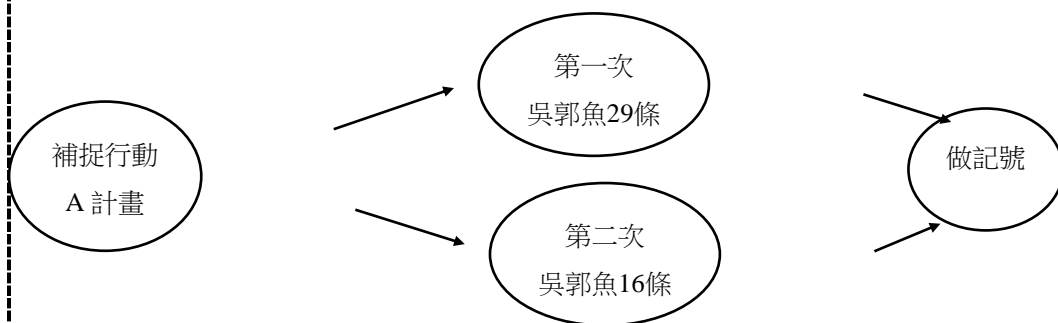
等心智工具作為概念的多元表徵，透過 GSP 的視覺特徵，清晰呈現學生對數學概念的敏銳覺察與生活趣味。表十與圖六呈現學生在中、後期 GSP 的設計說明與作品示例，初步對照除可發現學生已能充分發

揮數學創意，令人驚訝的是學生的思考路徑與設計風格在數學概念的精準與豐富，蘊涵諸多學習能量的自主遷移。

表六 同組學生在初期與後期書面報告中的概念構圖創意對照一

引自驅動問題：漁塭裡的魚鱗有幾片？書面報告（2001.3）

- 數學概念分項評定為「良」，得分為 2 分
- 表徵創意分項評定為「可」，得分為 1 分



圖一 專題實測過程概念構圖

一、引自驅動問題：一定要有對稱的飛機才會飛得又高又遠？書面報告（2003.4）

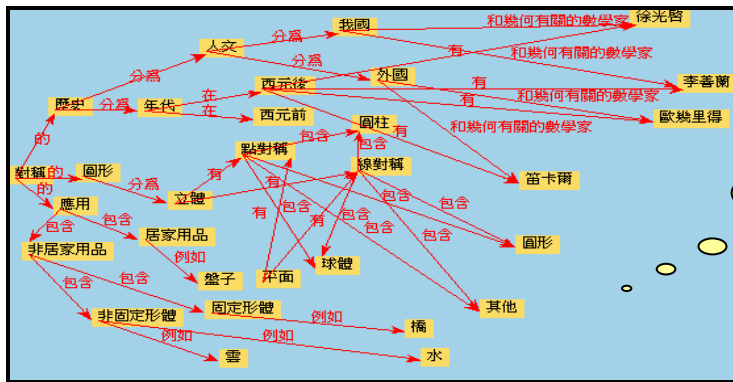
- 數學概念分項評定為「優」，得分為 3 分
- 表徵創意分項評定為「良」，得分為 2 分

二、專題學習概念構圖

（一）製作概念構圖的歷程

我們的概念構圖有很多版本，製作方式是由兩校先自己完成第一版，再透過網路討論修訂成第二版，第三版，最後定稿（如圖二），每完成一版各小組會進行綜合討論，我們會吸取別組的優點，並根據別人給我們的回饋進行修訂。大家每看到別人的一點創意就忙的融進去自己的作品中，結果遭到師院老師認為太開放的 NG 版呢（如圖一）！趕緊重新再建構。

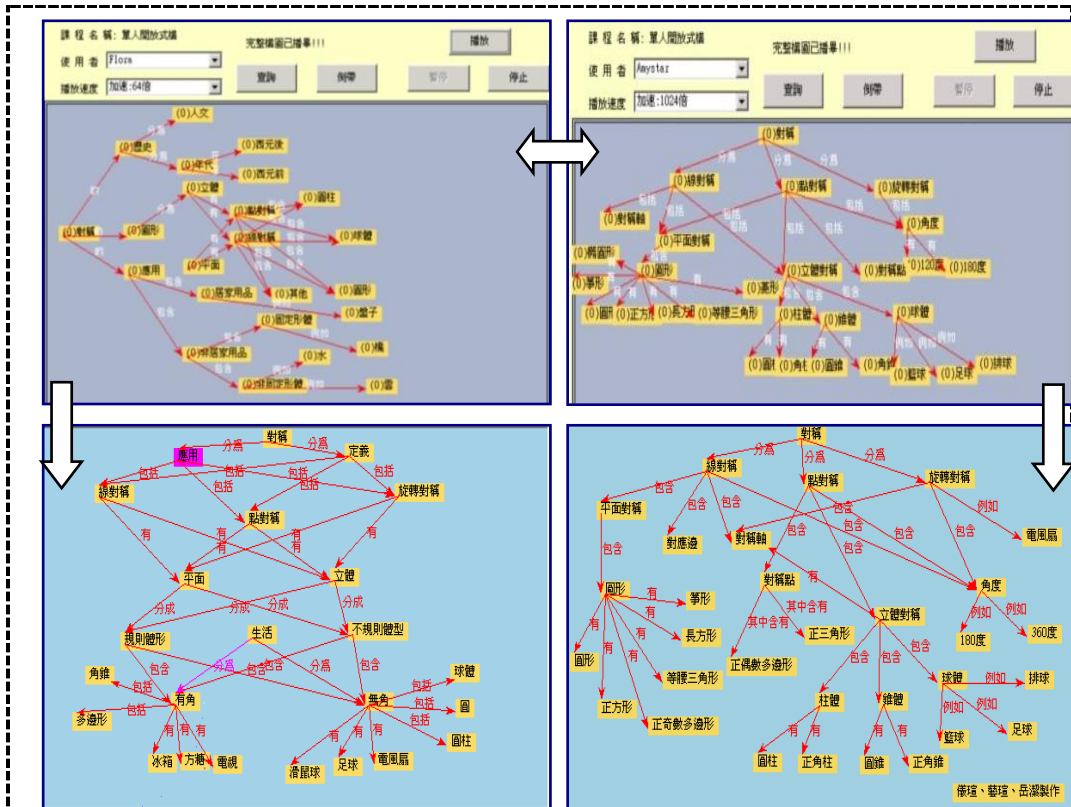
(二) 概念構圖



NG版

圖一 對稱第二版概念構圖

表七 同組學生在初期與後期書面報告中的概念構圖創意對照二

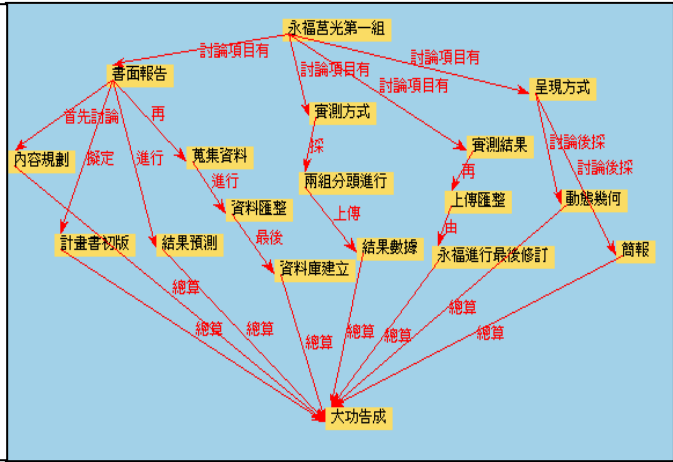


圖二 A校與B校在對稱概念構圖初稿與定稿修訂歷程

四、書面報告呈現計畫

我們以概念構圖來進行網路溝通，果然比較不會產生誤解（見下圖三）

我們兩校在專題學習後資料很凌散，老師要我們整理資料時很困難。後來永福國小透過概念構圖呈現想法，再與莒光溝通，終於決定在師院發表的書面報告要包括呈現結果、實測方式、實測結果、內容規劃、資料庫……等



圖三 專題結果呈現計畫的概念構圖

主題文章

表八 學生在第一期與第五期書面報告中生活經驗連結創意對照示例

引自驅動問題：漁塭裡的魚鱗有幾片？書面報告（2001.3）

- 數學概念分項評定為「良」，得分為 2 分
- 表徵創意分項評定為「可」，得分為 1 分

四、實測過程剪影

吳爺爺訪問記

時 間：90.3.11

主 角：吳爺爺(吳金益先生) 吳奶奶(吳秋媛女士)

✪現在記者所在位置是：台南市安南區吳家魚塭我正在訪問吳爺爺

般：養魚要注意什麼事情？吳郭魚和草魚的飼養方法有沒有不同？

爺：兩種魚的養魚方式沒有不同，養魚最怕是寒流，在溫度大約 5.6 度時，魚就可能會死。

般：寒流來，魚死了，不知爺爺是什麼心情？

奶：當然很傷心，好像是自己的親人死了。

般：一包飼料的價格是多少？成本是多少？

爺：一包飼料的價格是 300 元。一區成本約 10 萬元。

般：一期可賺多少元？

爺：我有兩區一期共可賺 15 萬元。

引自驅動問題：一定要有對稱的飛機才會飛得又高又遠？書面報告（2003.4）

- 數學概念分項評定為「優」，得分為 3 分
- 表徵創意分項評定為「良」，得分為 2 分

五、專題學習實測結果

（三）對稱在生活中的應用

對稱的應用非常廣泛，包括盤子、車輪、車子、橋、柱子、人、球、螺旋槳、飛機等，生活中有許多東西的設計都是對稱（見下圖 4）。



圖四 生活中應用對稱的物體

表九 第五期書面報告中以動態幾何表徵生活經驗連結的創意示例

**引自驅動問題：一定要有對稱的飛機才會飛得又高又遠？書面報告
(2003.4)**

- 數學概念分項評定為「優」，得分為 3 分
- 表徵創意分項評定為「良」，得分為 2 分

六、對稱的動態幾何世界

老師說希望大家能以生活化為設計題材，不過我們還是喜歡像 J.K.羅林的哈利波特的世界，比較有趣。所以我們利用湖設計出一個魔湖歷險的對稱世界，歡迎你們一起來歷險（如圖五）。

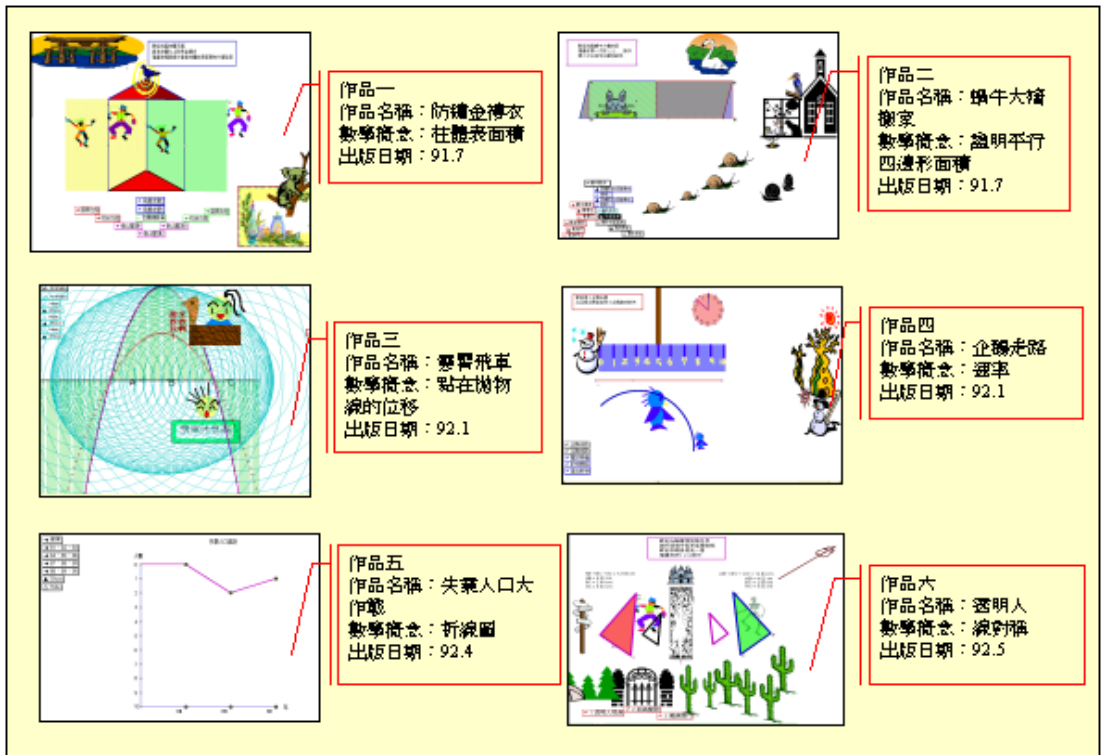


- 作品名稱：魔湖歷險
- 設計重點：
 - 希望創造一個生動有趣的情境，巧妙以湖製造出對稱世界，符合生活經驗的對稱經驗。
- 動態幾何用到的技巧：
 1. 點與對稱點在線段、多邊形區域、弧、圓和半圓的移動。
 2. 兼顧到車子的對稱。

圖五 動態幾何魔湖歷險設計

表十 GSP 設計作品創意評定示例

作品序	專題領域	評定內涵		
		數學概念	表徵創意	作品說明
一	平面幾何	良	良	柱體側面積展開為長方形
二	平面幾何	良	良	利用圖形搬移證出梯形面積公式
三	速率	良	優	拋物線的移動軌跡
四	速率	優	良	利用時間與距離的位移說明速率
五	比例	良	優	以折線圖表徵失業人口的流動比例
六	對稱	優	優	利用鏡外與鏡中世界說明對稱概念



圖六 GSP 輔具運用學生作品示例

肆、學生與家長的共鳴

本研究針對 7 位參與專題學習的家長和 5 位學生進行深入訪談，希望經由受訪者的晤談中，瞭解家長與學生對數學專題創意經營效益的觀感。

一、家長的認同與支持

本研究所訪談家長對專題學習多持正面肯定的態度，部分家長認為專題學習開放而多元的學習取向，利於學生知識的統整、轉化與遷移。透過跨組討論對問題的激盪與省思，可激發孩子合作與應變的能力。許多家長對專題學習的肯定，源於親眼目睹學生由膽怯生疏到自信有禮的站在講臺上，自在從容的介紹自己深耕出來的作品；尤其是學生在報告後與其他組別同學互動的實況，常令家長感受到的強大震撼與衝擊，原來說孩子充滿無限可能就是

這樣的見證。這樣的經驗讓部分原來對專題學習的觀望懷疑、到深切的支持與認同。他們相信專題合作經驗對學生所擁有的無限潛能，具有強大的激發作用。專題學習提供開放的情境讓學生面對挑戰，發揮學習韌性，也協助學生在修正計畫書或探索過程中，嘗試問題解決的新方法。新的學習情境提供學術冒險引領，而概念構圖、GSP 等心智工具的運用，更積極提供探索的支持，使創意的激勵更具效能，底下摘取兩則家長語錄作為示例。

「到底我們是要把小孩子培養成出一個考試的機器呢，還是要培養一個獨立自主，比較有主見的小孩子，可能需要多方面去思考。我覺得這種專題討論，我是很贊成啦！因為能夠讓學生把一個題目，以他自己的觀點，去思考，然後去做他的一個 Project，能夠知道他的來龍去脈……，對一個專題要自己去決定怎麼做，可訓練

主題文章

他們組織的能力，然後循序漸進思考自己的路線，我們國內的學生自主性比較低，獨創性相對就比較少，如果再沒有改進的話，可能他長大以後，要他從無中生出有創造性的東西很困難。……這種專題學習，慢慢的培養小孩子的啟發能力，等他長大以後，運用這套的思考路徑，配合他的所見所聞，一定能夠有新的發現。」(20308-1-B)

「第一次發表時，我們家的阿順好像是跟班的，我自己都覺得不太好意思。第二次就進步很多了，講得很令我滿意，還一直搶著要發表意見。我覺得以前我們的傳統教育，譬如說要去考試，一定要學過他才會寫出來，在專題學習中根本不曉得他居然能從無到有，潛力發揮得這麼快，而且都有很多有趣的創意。……以前會認為花太多時間在專題學習這一方面，怕他考試考不好，後來發現他對外的考試，或是在學校的重要考試，反而考得更好。剛開始我都以為他是去玩電腦，才那麼喜歡去，我覺得不用花錢可以學到電腦也是不錯啦！但是我誤會他，說真的我最近這幾個禮拜去參與……，我覺得要改進的地方真的是很少，為什麼學生有那麼大的潛力，現在我比較能放開心胸，……基本上我覺得專題小組激發了他的潛能，讓他摸出自信。」(20308-1-E)

二、學生的觀點與態度

在訪談中特別令研究者驚訝的是學生陳述自己對數學學習的喜愛與期盼，多能以具體理由作為說明的支撐，學生對專題學習和其他學習取向的差異，也能統整而清晰的對照說明，除表達兩種取向上課心情的比較外，對二者在學習內涵上的差異，也時有生動的描述。顯示學生參與專題學習後，後設覺察的靈敏性也呈現實質的進展。大抵而言，受訪學生認為專題學習的真實經驗，能滿足他們主動探索的需

求，學習變得更有趣、效果也較佳。部分受訪學生認為數學專題自主的活動學習歷程，讓自己對所學知識更有感覺，改變他們以往認為數學是抽象的觀念，也消除長久以來對數學的恐懼，使數學學習更具實質的意義，在數學的學習態度上更具自信。尤其是經驗結合的專題學習，將學習的場所延伸到週遭的生活空間，學生在專題學習歷程中認同合作的價值，也培育合作的能力。部分受訪學生甚至將專題學習所提供的挑戰，推論到將來職場上可能的應用價值，底下摘取三則語錄，作為實例說明。

「我很喜歡上專題學習。因為它研究的方法會增強你的概念，對小朋友學習是比較有意義，思考可能會比較縝密……。從參加數學專題後，我的數學比較進步，老師上課講什麼都比較聽得懂了，我現在認為自己也不笨囉。至少敢去考奧林匹克，以前我媽媽要我去我都不敢去。……專題學習對我們日常生活裡面實用性是比較高的，因為它延伸的比較廣，可以說是買一送五、六，除了學到數學，還送了合作的默契、面對挑戰的勇氣、隨機應變的能力、腦筋急轉彎的能力、創意的發揮……有一種自由的感覺。……以後如果參加好幾萬人的大公司應徵，應該會心怯才對，但是假如在青少年時代常有上臺發表的機會，應該培養出很好的勇氣，就比較不會心怯。在專題學習獲得查資料、重點整理的能力和隨機應變的能力，這些知識可以讓我在考試時易如反掌。」(20308-2-1)

「我覺得專題學習也可以達到直接套用公式的效果，因為經過計畫書初稿、修訂定稿、實測這些流程，對問題瞭解會比較深，也能增強學習的概念，對小朋友的學習比較有意義，就算要花比較長的時間也沒有關係。有時我們會討論新的方法，然後用概念構圖去規劃解題的路線圖，常常也會有收穫……雖然黃老

師和爸爸兩個都教得很認真，但是他們沒有讓我自己去發掘解決問題的方法。不過你（研究者）在專題學習時鼓勵我們自己去實測，後來我在實測時自己發現平均的用法，所以記得很清楚，應該一輩子都忘不了。」(20308-2-L)

「剛上數學研究小組的時候，有些人常常不專心討論，只想自己弄自己的。後來大家對上課模式比較熟了，問題就多了，進行討論時你一句我一句，往往沒有共識，有時候會有人很堅持自己的意見，也有人喜歡找別人說話的漏洞。不過這種人漸漸就被消滅了，因為不好好採納別人好的意見，整合大家的意見，綜合報告時就會被別組修理得很慘。現在我們這組一有人不專心，我就負責把他抓回來，如果有人請假沒來，事後會有其他組員負責教他。例如有些動態幾何的操作不會，就由我看動態幾何的手冊，然後教他們步驟，大家跟著一起做一起學習，電腦不太會操作的，就由幾位同學教他們。」(20308-2-K)

伍、結語

本研究以合作專題學習的取向，希望能有效協助學生發展真實問題解決的能

力，歷程中透過生活經驗議題的關聯，讓學生以自主合作的方式進行探索。學生在歷程評量的支持中共同面對學習的挑戰，清晰簡要的評量設計，積極而持續的激勵學生學習的進展，協助他們覺察優異與成長的重要表現，以利數學創意的發展。有關專題學習在數學能力的協助效益已獲得普遍的支持，比如說文中所擇定的兩組學生，他們的數學能力皆顯著優於控制組，（組間差異的 η^2 為 8%，林宜樺，2003）。數學創意的開發，同時是教育核心的關注，目前有關專題學習對數學創意經營成效的探討，仍缺乏嚴謹或較大樣本的實徵資料作為參考。本文僅以歷程評量模式，提供初步的評量規準及應用示例，希望為數學專題學習中創意評量的實務略盡棉薄。透過歷程紀錄所呈現的學生成長軌跡，初步肯定學生在兩至三年的專題學習經驗，輔之以適切的評量回饋，國小學生數學創意發展的軌跡是可實徵觀察和探討。其中家長和學生在訪談中所呈現對數學思考和創意的覺察和重視，更令研究人員動容。在研究設計尚難嚴謹充分的階段，他們的支持和投入，讓我們戒之慎之；也讓我們積極分享，誠盼拋磚引玉，激發更多的創意經營行動。

參考書目

- 鄒慧英（2000）。專題學習的概念介紹與評量設計示例。教育部：發展小班教學宣導專書(5)-「新世紀優質學習的經營研討會論文集」。台南：台南師範學院，35-52。
- 陳沅（2002）。國小數學專題學習活動發展與應用之研究。臺南師範學院數學教育所碩士論文。
- 林宜樺（2003）。網路專題學習環境中國小學生專題探討能力發展特徵之研究。臺南師範學院國民教育所碩士論文。
- Adler, M. J. (1986). Commentary: Why critical thinking programs won't work. **Education Week**, 28, 13-14.

主題文章

- Basili, P. A. & Sanford J. P. (1991). Conceptual change strategies and cooperative groups work in chemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, **28**(4), 293-304.
- Boaler, J. (1998). Open and closed mathematics: student experiences and understandings. **Journal for Research on Mathematics Education**, **29** (1). 41-62.
- Buck Institute for Education (1999). Project-based learning overview: four reasons to try. [on-line] Available: <http://www.bie.org/pbl/pblhandbook/intro.php>
- Cobb, P., Wood, T., Yackel, E., & Perlwitz, M. (1992). A follow-up assessment of a second-grade problem-centered mathematics project. **Educational Studies in Mathematics**, **23**, 483-504
- Erickson, D. K. (1999). A problem-based approach to mathematics instruction. **Mathematics Teacher**, **92** (6). 516-521.
- Gardner, H. (1993). **Creating minds**. NY: Basic Books.
- Hmelo, C. E., Gotterer, G. S., & Bransford, J. D. (1997). A theory-driven approach to assessing cognitive effects of PBL. **Instructional Science**, **25** (6), 387-408.
- Krajcik, J. S., Czerniak, C. M., & Berger, C. (1999). **Teaching Children Science: A Project-based Approach**. Burr Ridge, IL: McGraw-Hill College.
- Kyeong, H. R. (2003) . Problem-based Learning in Mathematics. [on-line] <http://www.stemworks.org/digests/EDO-SE-03-07.pdf>
- Lubienski, S. T. (1999). Problem-centered mathematics teaching. **Mathematics Teaching in the Middle School**, **5** (4). 250-255.
- Reynolds, F. (1997). “ Studying psychology at degree level. Would problem-based learning enhance students’ experiences?” **Studies in Higher Education**,**22** (3),263-275
- Sharp, J. E. (1997). Using portfolio in classroom, *Proceedings of 27th Frontiers in Education Conference*, **1**, pp.272-279.
- Smith, C. M. (1998). A Discourse on discourse: Wrestling with teaching rational equations. **The Mathematics Teacher**, **91** (9). 749-753.
- Sternberg, R.J., & Lubart, T.I. (1995). **Defying the crowd: Cultivating creativity in a culture of conformity**. NY: Simon & Schuster.
- Swartz, R.J. (2003). Infusing critical and creative thinking into instruction in high school classrooms: In D. Fasko, Jr. (Ed). **Critical thinking and reasoning**. Cresskill, NJ: Hampton press, 207-252.
- Wallach, M.A. & Kogan, N. (1965). **Modes of thinking in young children: A study of the creativity-intelligence distinction**. Holt, NY: Rinehart & Winston.

Developing Creativity Through Web-based Mathematics Project-based Learning and Assessment

Pi-Hsia Hung* Yun Chen I-Hua Lin*****

The accelerating rate of change in the world is producing an environment that is more unpredictable than ever before with a wider range of options. The creative talents of citizens are crucial to their success. Our modern world requires people with increased flexibility and adaptability. The research literature strongly suggests that PBL is an effective curricular approach to developing scientific, mathematical, and technological talent and creativity. The alignment of learning activity and assessment during PBL is essential if this approach is to be effective. This paper described a three-years study undertaken in two Taiwan elementary schools which explored students' learning progresses in Web-based learning environment designed to support project-based learning (PBL). The results demonstrated the potential effect of creating a positive learning environment. By establishing a culture that stresses student self-management and self-direction; using models or exemplars of excellent work; and creating a virtual environment that will facilitate project work, the participants work hard happily and progress significantly. Creativity plays a major role in the learning process of PBL. Our creativity learning support involves environmental, activity, and feedback dimensions. The foundation for the development of creativity is established through a supportive, open-minded and innovative web-based PBL interaction environment. The learning activities encourage massive discussion between and within collaborative groups. And creativity is an element of all formative assessment designs.

At their early experiences, students had difficulty with open-end situations and with ill-defined problems. It is unsatisfactory to have a teacher intervene and direct

students in their inquiry, while it is equally unsatisfactory to allow students to flounder or to put in large blocks of time exploring unproductive ideas in their investigations. The results suggested that the effectiveness of PBL as an instruction method may depend on the scaffolding of formative assessment feedbacks. The study incorporated clear standards to guide beginning inquiry, with experienced peer or teacher on-line assessment feedback. On-line formative assessment feedback embedded guidance for or models of how to conduct an operation within project materials. The formative assessment also provides norms for individual accountability in the group and progress for each group. These results show that collective intelligence and creativity is an attainable dream even for the elementary school students.

Key Word: Web-based 、 Mathematics Project 、 Process Assessment

* Professor, Graduate Institute of Measurement and Statistics, National Tainan Teachers' College

**Teacher, Yung-Fwu Primary School in Tainai.

*** Teacher, Chu-Kuang Primary School in Kaohsun.