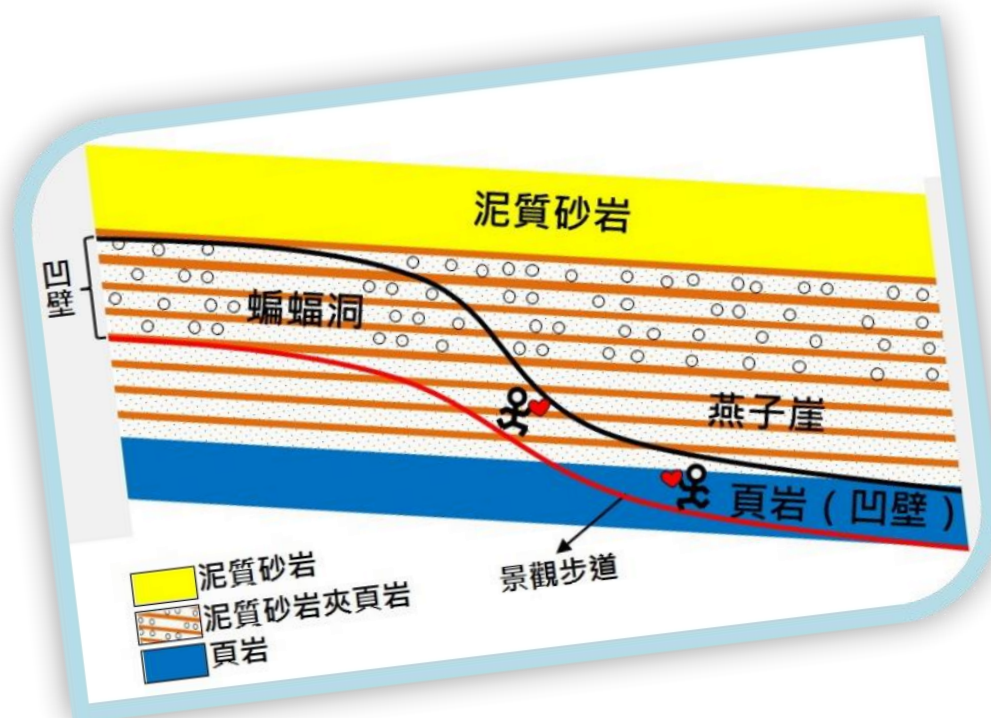


嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會作品說明書

「蝕」石刻「刻」-

探究燕子崖、蝙蝠洞、龍宮瀑布的侵蝕現象與成因



科 別：地球科學科

組 別：國小組

關鍵詞：蝙蝠洞、燕子崖、龍宮瀑布

編 號：

中 華 民 國 一 〇 八 年 三 月 十 九 日

「蝕」石刻「刻」---探究蝙蝠洞、燕子崖、龍宮瀑布的侵蝕現象與成因

摘要

蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布為瑞里知名的觀光景點，更是最佳的地質教室。三地皆為水平排列的砂頁岩互層，在蝙蝠洞凹壁產生的洞比其他兩者還要大，更特別的是燕子崖的地質特徵與較遠的龍宮瀑布更為相似，經研究發現，兩者應為同一地層。此研究藉由實驗證明三者都因為河流側蝕作用，加上差異侵蝕，因而形成這三地令人讚嘆的特殊地質景觀。野外調查中，在蝙蝠洞中發現有白色粉末的結晶，在龍宮瀑布則有黃色粉末的附著，這兩者經由實驗發現可能是硫酸亞鐵及硫酸鐵的化合物。此三地的形成原因並不特別，但此景卻不常見，可能是因為很多地層產生崩塌或植披覆蓋住，因此我們更要好好愛惜此珍貴的地形地貌。

壹、研究動機

蝙蝠洞、燕子崖、龍宮瀑布，是嘉義瑞里著名的觀光景點。

初步參觀蝙蝠洞時，我們因看到壁上一個又一個洞，而感到好奇；再次參訪蝙蝠洞前，我們先做了功課，並了解原來那些洞是因長時間被風化侵蝕而形成。在我們讀到「侵蝕」二字時，立刻想到自然與生活科技課本六上第三單元「大地的奧秘」，希望能夠再深入探討，當然也聯想到了「科展」，並決定將它做為科展主題、提出我們對地質遺跡的看法。

另外，我們也將龍宮瀑布做為這次的主題之一。瑞峰村龍宮瀑布的型態與瑞里的燕子崖相似，同在梅山鄉但位置不同，我們期盼透過這三個地質遺跡的調查研究，能告訴大家：它們彼此之間是否具有關聯，進一步建立共同維護珍貴地質遺產的正確態度。我們還要呼籲大家，多親近山林，欣賞壯觀又鬼斧神工的自然創作「蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布」，享受那一份令人驚艷與心曠神怡的享受。

貳、研究目的

- 一、調查蝙蝠洞和龍宮瀑布附近的地質與地層構造。
- 二、探討蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布的形成原因。
- 三、提出維護地質遺跡的建議。

參、文獻探討

- 一、蝙蝠洞與燕子崖：位於嘉義縣梅山鄉瑞里風景區中，在 104 年兩者共同被劃定為地質遺跡地質敏感區。蝙蝠洞上的孔洞是歷經數百萬年的河水作用形成，經造山運動隆起後，變成今日之模樣，岩壁與燕子崖相連，長約 230 公尺，上面有數千個大小不一的石洞，十分雄偉壯觀，昔日曾有無數的蝙蝠在此棲息。蝙蝠洞比燕子崖更為壯觀，數以千計的洞壁，構築大崖壁。燕子崖也位於砂頁岩互層，其中的石灰岩層或結核受到河水的溶解，表面容易變的較軟弱些，當大雨挾帶礫石不斷衝擊時，砂岩表面容易出現一些坑



圖 A 蝙蝠洞說明牌



圖 B 燕子崖說明牌

洞，這些坑洞逐漸加深，而成為眼前所見景象。密布的岩石細孔是毛角燕築巢的地方，數量多時，可以見到數以百計的燕子在溪谷和岩壁間往返。

二、龍宮瀑布：是屬於瑞里風景區最壯觀的瀑布之一，落差約有 120 公尺，上層凹壁有一水濺洞，瀑布下面是竹坑溪，先往下流注到生毛樹溪，再匯流入清水溪。龍宮瀑布由於主流流量和下切速度較支流大，當支流有堅硬的岩盤出現時，主流和支流交會處因差異侵蝕，導致支流高懸於主流，而形成所謂的『懸谷型瀑布』。

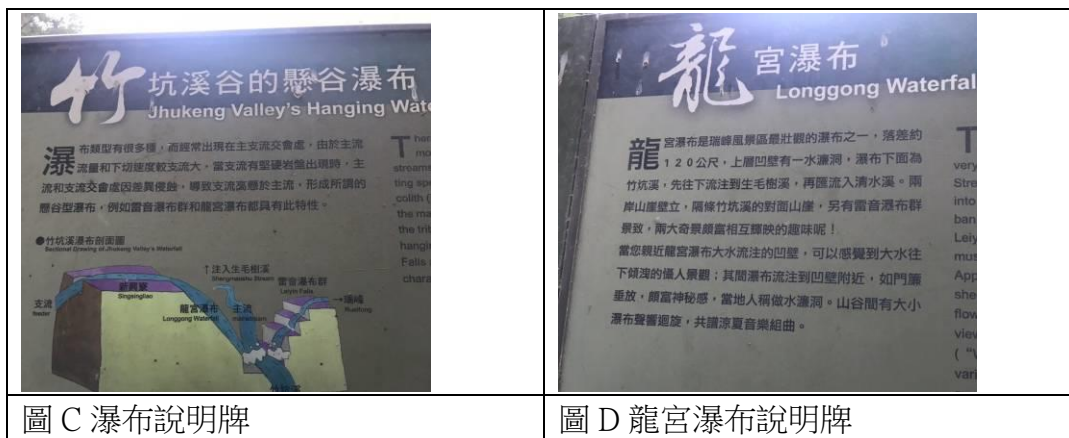


圖 C 瀑布說明牌

圖 D 龍宮瀑布說明牌

四、歷屆科展作品：

蒐集			
作品名稱	研究內容	關鍵字	年次/名次
老天爺也愛「戳戳樂」？—瑞里蝙蝠洞的地質調查研究	探討瑞里燕子崖與蝙蝠洞特殊地貌的形成原因。藉由實地調查，發現生痕化石「砂棒」證明此處為沉積岩地形；實際測量並設計相關實驗模擬燕子崖與蝙蝠洞凹洞的形成方式與差異，發現位於地層上方的蝙蝠洞形成時間雖然較晚，但是由於先露出水面受到差異侵蝕的影響，凹洞比燕子崖來的大。反之，燕子崖與蝙蝠洞對面的粗紙坑溪對岸則因曲流水流較慢與崩塌的關係，無法形成這樣子特殊的凹洞景象。	燕子崖、蝙蝠洞	第 55 屆 (民國 104 年) 地球科學科 第二名

肆、研究設備與器材

- 一、野外地質調查工具:傾斜儀、捲尺、皮尺、鐵鎚
- 二、模擬地質實驗器材:石膏、高壓清洗機、鐵尺、量角器、沉水馬達、魚缸、陶土、小砂石、漏斗
- 三、製作 3D 立體模型:電腦、3D 列印機
- 四、藥劑：硝酸鋇、硝酸鎂、氫氧化鈉
- 五、其他:塑膠淺盤、燒杯、試管、卡式爐、鎳鉻線、微量天平、湯匙、蒸餾水、試管、滴管

伍、研究過程與結果

研究一：野外地質調查研究

(一)燕子崖及蝙蝠洞

從嘉義市林森東路往竹崎166縣道方向前進，由166縣道轉入72.2K 產道約200公尺，到達青年嶺步道新入口，以前的瑞里大飯店入口已經不使用了，但有較大的停車場，入口處則可路邊停車。沿途可看見裸露的岩壁，一些崩塌地形沉積等現象隨處可見。



圖 1-1 青年嶺步道

露頭一 位於青年嶺步道中段位置，隔著粗紙坑溪與蝙蝠洞遙遙相對



圖 1-2 地質皆為沉積岩，都是砂頁岩互層，砂岩較多，所以岩壁都非常厚。



圖 1-3 有地下水滲出、岩壁中有長植物，因此地質較脆弱。



圖 1-4 以筆為比例尺時，寬和高的比是 1:3，寬約 2 米，高約 6 米。



圖 1-5 砂岩岩壁有許多條解理，其中中間較直的解理和左邊較粗的解理最明顯。



圖 1-6 圖中的裂縫為「節理」，節理是岩石受力後，所產生的破裂面。



圖 1-7 露頭下方逐漸被侵蝕，因此上方的岩壁未來可能會崩落。

發現:

- 1.露頭一為砂頁岩互層，其中大多為塊狀砂岩，渾厚雄偉。露頭表面節理不多，易坍塌，剝落後成球狀且有垂直裂隙，有的縫隙很大。
- 2.從左下角的圖片中可以看到，上面的岩壁是凸出來的，我們覺得未來有可能凸起來的部分會因下面缺乏支撐，最後因為負荷不了而掉下來。
- 3.我們發現地下水從岩塊內流出，坡面接近 90 度，周圍因潮濕而只生長苔癬類植物。

露頭二 燕子崖緊鄰情人吊橋北邊，蝙蝠洞、燕子崖觀光步道南邊起點。



圖 1-8 為了拓寬步道，讓人類行走更方便，燕子崖曾被人工挖掘，現場留有清晰可見的開挖痕跡。



圖 1-9 在燕子崖下方，有許多貝類化石，因此推測此地的水流及氣溫，適合生物生存。



圖 1-10 燕子崖下方的頁岩很容易從岩壁脫落，因此推測下方岩層較脆弱，風化也較嚴重。



圖 1-11 燕子崖因位於粗紙坑溪河道旁，所以步道上水滲出，形成類似水簾洞的景觀。



圖 1-12 燕子崖因砂、頁岩互層，差異侵蝕的結果，所以侵蝕出形成平行的凹凸橫排的條紋。



圖 1-13 岩層中較堅硬的突出部分稱為結核。



圖 1-14 燕子崖底部凹壁內有很多的崩塌。



圖 1-15 頁岩受到風化作用的影響產生圓形崩落。



圖 1-16 圓形頁岩中的貝類化石

發現:

- 1.因差異侵蝕作用而形成燕子崖，水平凹凸岩壁，底下之步道位處高度約 3 公尺凹壁內，屬厚層頁岩受河流側向侵蝕而形成。
- 2.在圖中，可以看見我們在燕子崖的下方找到了一些頁岩，且頁岩中有許多貝類化石。頁岩受到球狀風化作用產生圓形的風化球。
- 3.我們推測燕子崖以後可能會往下崩塌，因為下方頁岩層以被侵蝕，而漸漸的承受不了上方的重量，最終上方就塌下來了。
- 4.此地的坑洞比蝙蝠洞的坑洞小而淺。它與蝙蝠洞相距不遠卻面貌不同，需再探討。

露頭三 位於蝙蝠洞的景觀區，步道的終點。



圖 1-17 我們依洞被侵蝕的程度，做了洞的六個分層。



圖 1-22 蝙蝠洞直的節理面



圖 1-18 推測眼前的大洞，是由先前的許多小洞長期被侵蝕所組成，現在的小洞只是因風吹雨打而脫落，並非真的被侵蝕。



圖 1-20 前五層的洞口都和地面垂直 90°，第六排向下傾斜約 45°，而第七排的洞口則完全與地面平行。



圖 1-23 洞中的左邊較深，右邊較淺，推測是受到水流方向的影響。



圖 1-19 蝙蝠洞岩壁上共有 23 個節理，其中有 2 條為直線；其他則是不規則線條。岩壁越高，節理便越多。



圖 1-21 在紀錄洞口大小、深度的過程中，發現水往左沖刷，且洞中還有白色結晶。



圖 1-24 有些洞口有隔板

發現:

1. 蝙蝠洞岩壁上類似蜂窩狀的洞穴大小不一，最大者直徑超過 30 公分，外形以橢圓形居多，其內部空間呈不規則分布。蝙蝠洞的岩性屬於砂岩、頁岩互層，位在粗紙坑溪的北岸，與現在河床的落差約 6 公尺左右。
2. 有一個很大的洞，裡面有直、橫的隔板，我們推測裡面以前是很多小洞，但後來因被差別風化或風力作用侵蝕的關係，所以變成了一個大洞。

- 3.在圖一中，我們發現大洞通常都在同一排，經過細分後，我們分成六排；第一排是在最下面，洞裡有一些小石頭；第二排的洞很長，我們覺得是由許多小洞聚集在同一個地方，經過長期的侵蝕後，才成了大洞；第三排的洞和洞之間幾乎沒有隔板；接下來的三排，洞都沒有前三排大、左邊都比較凹，可見水是往左沖的。
- 4.我們在洞裡發現一些化石，因此而推測生物曾生活在這個地層裡。

(二)龍宮瀑布

我們 7:30 由嘉義市林森東路 46 號一路往竹崎方向前進，8:00 到竹崎後，沿著 166 縣道繼續往瑞里方向前進，再經 162 甲縣道，約 8:40 到達瑞里，沿路總共花費 1 個小時又 10 分鐘的路程。在步道入口往下走，中間經過 3 座橋，最後才到龍宮瀑布。



圖 1-25 竹坑溪步道龍宮瀑布地圖

露頭四 竹坑溪步道龍宮瀑布入口處



圖 1-26 岩壁中有地下水流出，表面長有苔蘚類植物。



圖 1-27 塊狀風化的頁岩，顆粒較小且脆弱，掉落時呈長條狀。



圖 1-28 頁岩風化後為洋蔥狀剝落，破碎面不規則。



圖 1-29 因為地質敏感，所以做了擋土牆，但擋土牆風化嚴重。



圖 1-30 此山溝是由兩座山壁所形成，山溝中堆積了許多岩石。



圖 1-31 頁岩硬度較低，因此較易掉落，而形成風化凹洞。

發現:

- 1.露頭四是位於竹坑溪步道上的龍宮瀑布入口處，沿途步道上所見的地質是屬於砂頁岩互層。

- 頁岩層理不明，易坍塌，剝落後成球狀。
- 我們發現龍宮瀑布和燕子崖地質相似，其地下水也會從岩塊內流出，坡面也接近 90 度，周圍也因潮濕而只生長苔癬類植物。

露頭五 龍宮瀑布竹坑溪步道 11 號橋段



圖 1-32 岩壁中長有許多植物。



圖 1-33 岩壁中有雙殼貝化石，約一個十元硬幣大小。



圖 1-34 頁岩層理不明，容易崩塌，剝落後呈現球狀，且破面凌亂。



圖 1-35 風化後的岩石掉落後，形成類似蛋殼的樣子。



圖 1-36 因岩石成分有些微差異，所以風化後的顆粒有大有小。



圖 1-37 風化掉落的岩石堆中，找到砂棒的生痕化石，大小小於一個十元硬幣。

發現:

- 此露頭稍崩塌，而且還有不規則裂痕。
- 岩石表面成 90°，較平滑。
- 山溝上方有平整的大石塊。
- 岩石剝落成洋蔥狀，因而產生弧形，洋蔥狀岩石又可分為凹凸兩種。
- 岩壁上有龜裂，且破面層亂。
- 我們在剝落的頁岩中，找到生痕化石。有些含有鐵質的頁岩中有長植物。
- 頁岩風化可分為片狀風化及塊狀風化;風化後的岩石掉落後形成蛋殼型及錯落型。

露頭六 龍宮瀑布竹坑溪 11 號橋與 10 號橋間



圖 1-38 頁岩顆粒較大，呈長條狀墜落。



圖 1-39 岩壁上可看出雨水侵蝕痕跡。

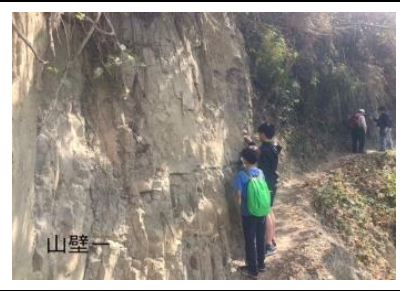


圖 1-40 地形是環形山谷。



圖 1-41 山壁上有許多直線風化的痕跡。



圖 1-42 這面山壁的裸露面有砂岩層和頁岩層堆疊。



圖 1-43 山壁有出現砂岩層的痕跡。

發現:

1. 露頭六的地形是環形山谷，而且岩壁成分大多是較大的頁岩，頁岩呈長條狀。
2. 我們可以在這裡的岩壁上看見雨水侵蝕的痕跡。
3. 我們還發現山壁有的只出現砂岩層，有的是砂岩和頁岩層堆疊在同一裸露面的情形。
4. 有的因快崩落，而以水泥噴漿及鐵絲網作為擋土牆。

露頭七 龍宮瀑布竹坑溪十號吊橋後的步道



圖 1-44 露頭七有較多地質現象，其中有海進退形成的裂縫。



圖 1-45 岩壁上大多是頁岩，其中有一層水平的砂岩層，岩石中含有鐵質。



圖 1-46 岩壁上有垂直的崩塌面，崩落的岩石有稜有角。

		
<p>圖 1-47 竹坑溪十號吊橋後的步道傾斜，須修復。</p>	<p>圖 1-48 落石的長寬高為：長 88cm、寬 58cm 高 25cm。</p>	<p>圖 1-49 岩石是黑褐色，顆粒較細風化嚴重，岩石大多為洋蔥狀剝落。</p>

發現:

- 1.在露頭七，我們發現較多的地質現象，由左上角的圖可以看出有海水進退所形成的裂縫。
- 2.這裡的頁岩是黑褐色的，顆粒較細、風化嚴重，且是呈現洋蔥狀剝落。
- 3.岩壁上的頁岩有稜有角，還有發霉的現象。
- 4.岩石中含有水平的砂岩，但不是整合面，由岩石的顏色可看出岩石中含有鐵質。
- 5.兩側有山溝，中間有一個垂直崩塌面。
- 6.竹坑溪十號吊橋後的步道傾斜，須修復，以免造成危險。

<p>露頭八 龍宮瀑布竹坑溪 10 號吊橋過後</p>		
		
<p>圖 1-50 了防止遊客被落石砸傷，在其中一段步道上製作屋頂。</p>	<p>圖 1-51 上層是砂岩；下層是頁岩，岩壁有多處崩塌，具有危險性。</p>	<p>圖 1-52 岩石大多垂直掉落並出現砂岩裂縫的情形。</p>
		
<p>圖 1-53 砂岩比頁岩堅硬，下方的頁岩被侵蝕後，形成凹處。</p>	<p>圖 1-54 風化後的頁岩成褐黃色；風化前的頁岩是灰色。</p>	<p>圖 1-55 我們以 3 公尺為單位，並測量步道總長 243 公尺。</p>

發現:

- 1.因為上層是砂岩、下層是頁岩，所以岩壁很容易崩塌，具有危險性。
- 2.岩石出現裂縫，大多垂直崩落，所以為了防止遊客被落石砸傷而製作了屋頂。
- 3.河床上堆積的岩石，大部分是砂岩。
- 4.步道稍微傾斜，傾斜的角度為:北偏東 80 度，向西傾斜 14 度。

露頭九 龍宮瀑布



圖 1-56 岩壁上有很多裂縫，每個裂縫寬約 2 到 3 公分。



圖 1-57 在頁岩中有一個小圓圈，圓圈的外圍比圓心高。



圖 1-58 岩壁因水流衝擊力道大小不同而產生侵蝕凹洞。



圖 1-59 龍宮瀑布屬於破壞性瀑布，未來會往源頭侵蝕



圖 1-60 岩壁上有許多黃黃的礦物，聞起來有硫磺的味道。



圖 1-61 砂頁岩互層，外觀與燕子崖相似。

發現:

- 1.露頭九的地質和燕子崖相似(砂、頁岩互層)，成水平凹痕。
- 2.岩壁上侵蝕出的裂縫大小都寬約 2~3 公分。
- 3.岩壁上風化後的頁岩都是長條狀掉落。
- 4.我們發現岩壁因水流衝擊力道大小不同而產生侵蝕凹洞。
- 5.在岩壁上有發現一些黃色的沉積物，取一些樣本回來分析研究。

研究二：蝙蝠洞是如何形成的？

我們到蝙蝠洞時，看到岩壁上有許多大大小小的洞，而洞的深度不迥相同，因此對那些洞感到好奇。經過組員的一番討論後，我們認為洞是因長期被風化作用侵蝕而產生，而風化作用包含了陽光、空氣、水及生物活動的影響而產生，於是我們進行了以下的實驗，以下實驗皆以水當風化作用的主要作用力，以方便我們的實驗設計。



圖 2-1、圖 2-2、圖 2-3 觀察到地層中的洞，大部分都是面對洞的左側深度都比較深

試驗 2-1: 沖蝕蝙蝠洞的水流方向為何?

(一) 實驗設計:

操作變因: 高壓水柱沖蝕石膏塊的方向(0° 、 30° 、 60° 、 90°)

保持不變的變因: 使用高壓水柱沖蝕的距離、水柱強度、石膏塊的硬度、

應變變因: 石膏塊被侵蝕的情形

(二) 實驗材料: 高壓清洗機、水桶、水、石膏塊、量角器、尺、磚塊

(三) 實驗步驟:

1. 將石膏塊擺置適當的位置。
2. 以量角器確認角度，並以長尺量測出 60 公分處擺放水槍。
3. 使用水槍沖蝕石膏，5 分鐘後觀察石膏塊上沖蝕的情形。



圖 2-4 在水桶中加水供高壓水槍使用。



圖 2-5 用量角器與尺標記出水槍的位置。



圖 2-6 將石膏塊擺放於底座上。



圖 2-7 使用水槍模擬蝙蝠洞的侵蝕。(90 度)



圖 2-8 以角度 60 度沖蝕石膏塊。



圖 2-9 以角度 30 度沖蝕石膏塊。



圖 2-10 以角度 0 度沖蝕石膏塊。

(四)實驗結果:

1.沖蝕實驗的結果

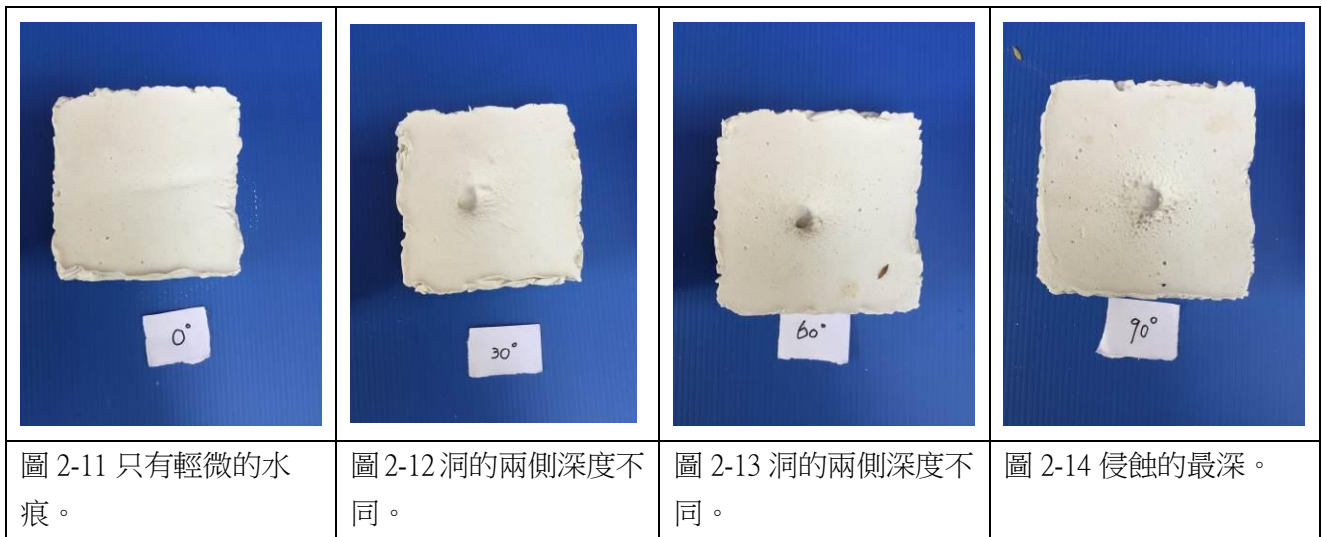


表 2-1：石膏塊沖蝕大小的紀錄

角度	0°	30°	60°	90°
洞口的高	1	2	2	2
洞口的寬	4	2.8	2.2	2
洞口最深處	0.2	1	1.3	1.4

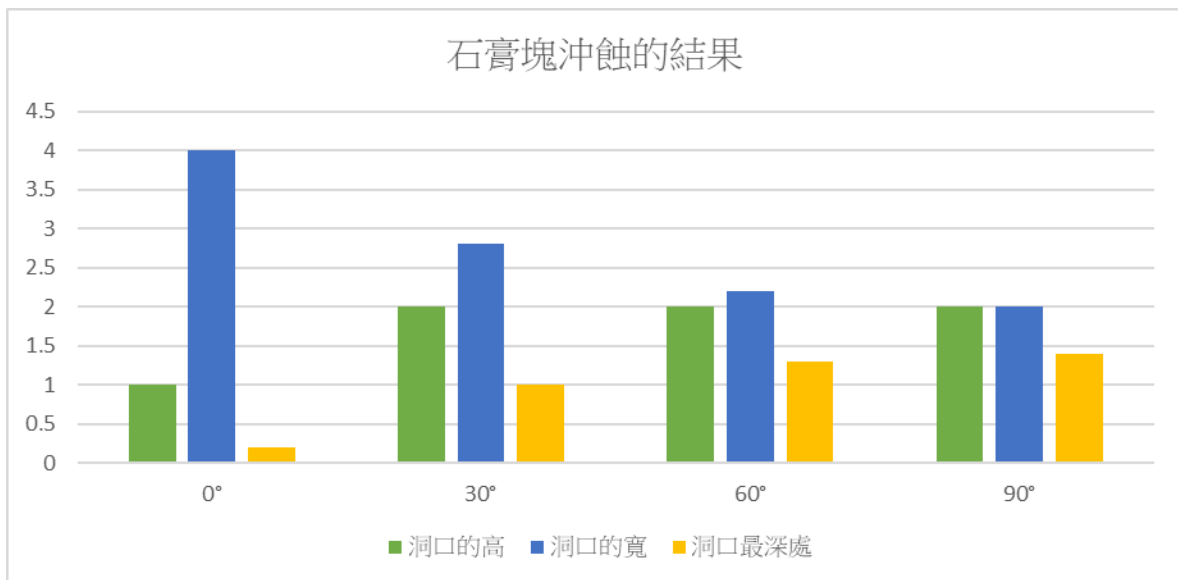


圖 2-15：石膏塊沖蝕產生洞口的高、寬及深度比較

結果發現:

- 1.當水柱拿垂直(90°)於石膏塊時，可以發現沖出來的洞的深度對深，當角度越小，沖出來的洞則越淺。但高度除了0°，幾乎沒有甚麼很大的變化。
- 2.當水柱拿平行(0°)於石膏塊時，可以發現深度很淺但寬度很寬的水痕，當角度越大，沖出來的寬度越短，深度越深。

2.實際測量蝙蝠洞的結果



圖 2-16 測量洞的高度



圖 2-17 測量洞的寬度



圖 2-18 測量洞的深度

表 2-2：蝙蝠洞實際測量結果

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
長	21	21	30	21	13	10	9	10	5	3
寬	65	46	27	23	13	9	14	9	4	4
深	33	26	14	13	10	9	5.6	6	3	5
體積	45045	25116	11340	6279	1690	810	705.6	540	60	60

結果發現：

以 90 度沖刷時侵蝕出的洞正中央最深，60 度的洞右邊與最深處的深度差約 1 公分、距離約 2.2 公分；30 度的洞右邊與最深處的深度差約 0.7 公分、距離約 2.8 公分；0 度的沒有侵蝕出洞的痕跡，只有明顯的水痕。因此可知，水流由右邊沖蝕時，洞的左邊會出現較深的凹痕、右邊則較淺。本實驗以 30 度沖蝕出的結果與蝙蝠洞真實的狀態較相似。

蝙蝠洞位於河流的凹岸位置，因此受到較強烈的側蝕作用而形成。我們發現凹壁上有許多密集的小洞，而大部分的洞左側都被侵蝕的比較深。這些現象是因岩壁是由許多分布不均的砂頁岩組成，所以導致差別風化。

試驗 2-2：蝙蝠洞又是如何形成的呢？

(一)實驗設計：為了想了解蝙蝠洞是如何形成，我們想利用透明水族箱模擬最早之前蝙蝠洞的地層沉積在水中的情形，並以石膏塊做為蝙蝠洞的地層，並以沉水馬達沖蝕小石頭，觀察石膏塊被侵蝕後的情形，設計圖如右：

(二)實驗材料：石膏粉、水、電子磅秤、塑膠盒、竹筷、水族箱、沉水馬達、小石頭

(三)實驗步驟：

- 1.利用電子磅秤測量不同比例的水與石膏粉。
- 2.加入容器後攪拌至無沉澱物。
- 3.加入模具，並放置一個禮拜。
- 4.將水及脫模後的石膏塊放入水族箱，並測放 30° 擺在馬達出水口前。
- 5.用馬達出口水柱對著石膏塊沖蝕，並於水箱上裝置漏斗，方便小石頭落下，加速水的衝擊力。
- 6.觀察、紀錄沖蝕後的石膏塊。

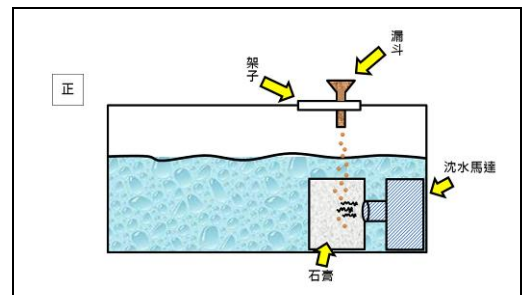


圖 2-19 蝙蝠洞模擬實驗設計圖(正面)

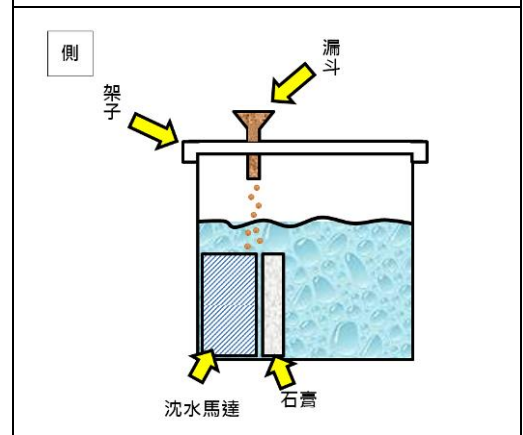


圖 2-20 蝙蝠洞模擬實驗設計圖(側面)

圖 2-21 將量好的石膏粉和水倒入容器中。	圖 2-22 在模具中鋪保鮮膜。	圖 2-23 用竹筷以8字形攪拌後倒入模具。
圖 2-24 將水加到淹過馬達頂端。	圖 2-25 將石膏塊擺在馬達出水孔前。	圖 2-26 持續從漏斗中加入小石頭

(四)實驗結果:

圖 2-27 小石頭會掉到馬達前面	圖 2-28 小石頭會被馬達吹去侵蝕石膏塊	圖 2-29 觀察石膏塊被侵蝕的情形
圖 2-30 用水 160 克、石膏 200 克所調製出的石膏塊。	圖 2-31 石膏塊上出現許多小洞	圖 2-32 洞變得更密集

結果發現:我們觀察到被侵蝕 2 小時後的石膏上有許多洞，而洞則是隨著被小石頭侵蝕的方向產生，被沖刷的面侵蝕的比較深。從實驗的石膏塊可得知水是往哪一邊的面侵蝕與沖刷，而我們的實驗結果如同蝙蝠洞被侵蝕的洞。

研究三：燕子崖與龍宮瀑布的形成原因

根據試驗 2-1 的結果，水流沖刷方向為 0°時，沖刷出來的結果與燕子崖較為類似，於是開始以下的實驗設計：

試驗 3-1 燕子崖是如何形成的

(一)實驗設計:了解燕子崖的形成

(二)實驗材料:水、泥土、陶土、沙子、模具(塑膠盒)、水盒、馬達

(三)實驗步驟:

- 1.將泥土、陶土混和，加入水直到可以做出土球。
- 2.捏出長、寬和模型大小相符，厚度約 0.5 公分的土片。
- 3.將土片放入模型後疊上約 0.5 公分厚的沙子，重複此動作 6 次後等待模型乾燥。
- 4.將模型放入水盒，水半滿，在用沉水馬達沖刷 1 分鐘。
- 5.拿出後觀察實驗結果。



圖 3-1 燕子崖模型設計圖

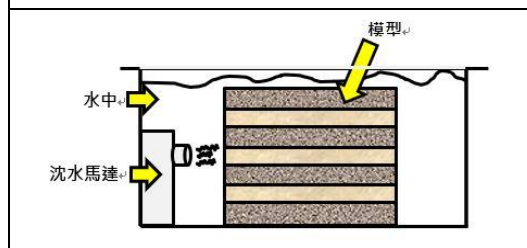


圖 3-2 燕子崖模擬實驗設計圖



圖 3-3 將水、泥土、陶土混和均勻。

圖 3-4 捏出約 0.5 公分的土片。

圖 3-5 上約 0.5 公分的沙子。

圖 3-6 重複相同的動作六次。

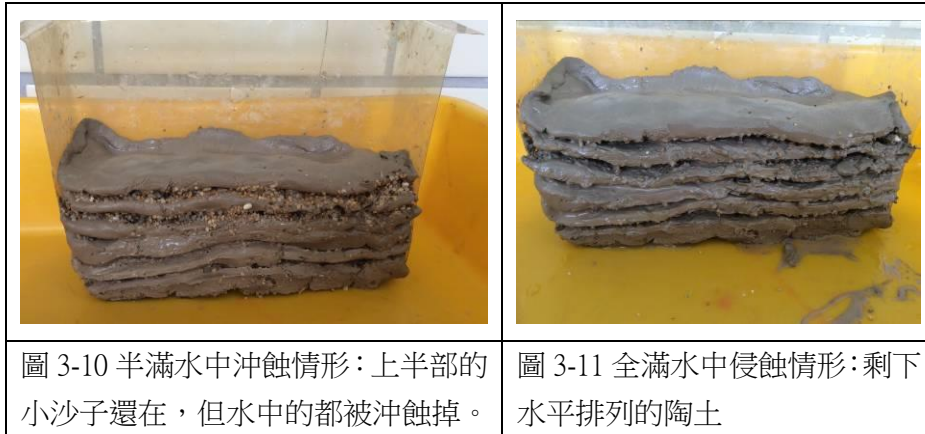


圖 3-7 用馬達模擬水流，沙子部分慢慢被侵蝕。

圖 3-8 半滿水沖刷實驗

圖 3-9 全滿水沖刷實驗

4.實驗結果:



結果發現:

燕子崖的地形為砂頁岩互層，岩壁上有許多平行的侵蝕痕跡，所以在實驗中，我們使用混和土壤的陶土模擬堅硬的砂岩，並使用沙子作為頁岩模擬砂頁岩互層。沙子（頁岩）的部分很快就被侵蝕，最後只剩下陶土（砂岩）部分，如果模型在水中泡太久，就會爛掉，所以我們只沖了 1 分鐘。

研究三中，我們拿泥土加上陶土來模擬結構較堅硬的岩層，小石子來模擬結構較脆弱的岩層，結果發現小石子那層被侵蝕的情形較嚴重。但就岩石顆粒大小來看，砂岩層的顆粒應該比頁岩層來的大，但模擬實驗土壤的顆粒大小卻相反，因為真實的狀況是長時間的沉積、擠壓、膠結後產生的岩層，所以此實驗設計只能從結構的鬆散模擬真實狀況，而經水流側蝕作用後，也呈現出與燕子崖相似的岩層地形。

試驗 3-2 龍宮瀑布是如何形成的?

(一)實驗設計:了解龍宮瀑布的形成

(二)實驗材料:水、泥土、陶土、沙子、模具(塑膠盒)、水盒

(三)實驗步驟:

- 1.將水、泥土、陶土混和均勻。
- 2.捏出長、寬和模型大小相符，厚度約 0.5 公分的土片。
- 3.將土片放入模型後，疊上約 0.5 公分厚的沙子，重複此動作 8 次後等待模型乾燥。
- 4.在水盒上挖上一個洞，並接上一根水管，沖刷 1000ml*10 次並觀察實驗結果。

(四)實驗結果:

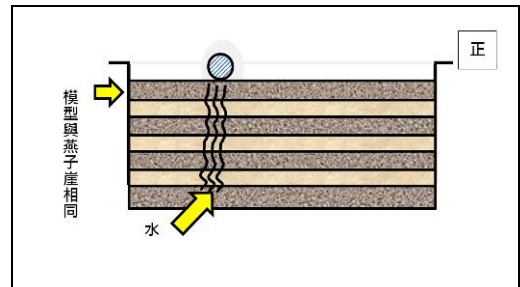


圖 3-12 龍宮瀑布模擬實驗設計圖 (正面)

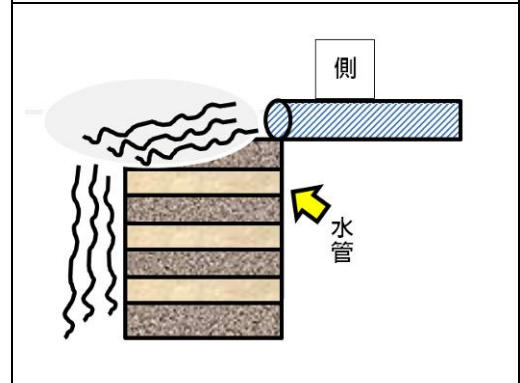


圖 3-13 龍宮瀑布模擬實驗設計圖 (側面)



圖 3-14 瓶子把水用管子讓水沖出去沖蝕泥土。



圖 3-15 泥土正在被水侵蝕。



圖 3-16 泥土被水沖蝕，而形成了一個扇形。



圖 3-17 泥土被水侵蝕到下面的土崩塌。



圖 3-18 泥土向下與向側面侵蝕。

結果發現:

從實驗中發現，水流對地層會產生侵蝕作用，可以發現水會先往下方侵蝕，再往側邊侵蝕，進而形成一個扇形。岩層中較脆弱的部分會因無法承受水流的侵蝕作用，而產生崩塌。由此實驗可知龍宮瀑布附近的地層具有隨時會崩塌的危險性。

研究四：燕子崖與蝙蝠洞有相關嗎？

根據經濟部地質遺跡地質敏感區劃定計畫書，資料中說明蝙蝠洞和燕子崖為相鄰的岩壁地形(如下圖)，圖中也可發現蝙蝠洞與燕子崖畫在同一地層中，於是我們以此資料與我們實際觀測結果作為應證。

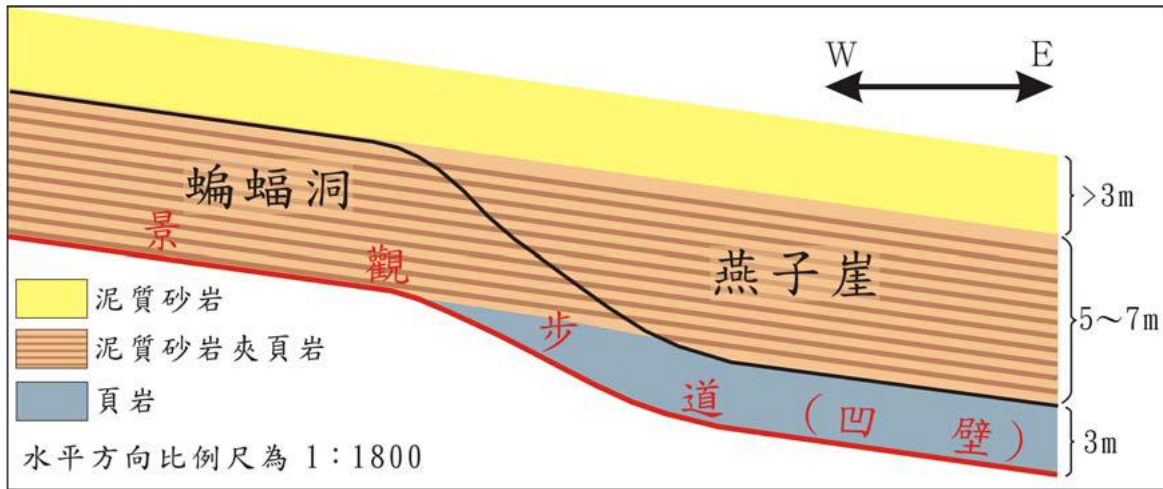


圖 4-1：蝙蝠洞及燕子崖分布關係示意圖（為清楚示意而將垂直方向之比例尺放大）。黑線與紅線所夾範圍表示景觀步道所在之凹壁。(經濟部:地質遺跡地質敏感區劃定計畫書)

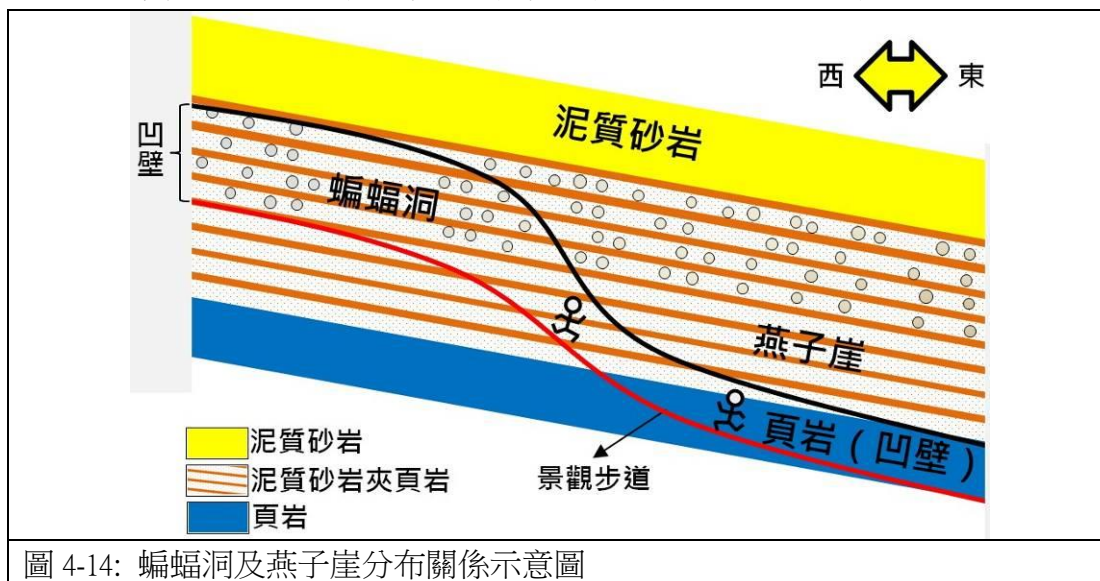
<p>圖 4-2 燕子崖水平排列的岩層</p>	<p>圖 4-3 燕子崖岩壁近拍</p>	<p>圖 4-4 燕子崖中堅硬的結核</p>
<p>圖 4-5 蝙蝠洞水平排列的岩層</p>	<p>圖 4-6 蝙蝠洞上層凸出的砂岩</p>	<p>圖 4-7 燕子崖前往蝙蝠洞步道旁可見，下層的地層與燕子崖相似，上層的地層與蝙蝠洞相似</p>

從實際觀察的結果與測量，燕子崖到蝙蝠洞的總長度為 256 公尺。雖然燕子崖與蝙蝠洞的地層均為水平排列的砂頁岩互層，但是蝙蝠洞的地層應該是在燕子崖的地層之上，地層的

形成過程也較晚。燕子崖雖然有差異侵蝕所產生的凹凸現象，卻沒有像蝙蝠洞這般的小洞，推測是因為當時水平沉積的岩層每層的質地較為均勻，但也含有一些較堅硬的結核。而蝙蝠洞之所以產生一個一個洞，我們推測應該是水平層積的地層比較不均勻，受到河流的侵蝕下，較不堅硬的地方被挖出一個一個的洞，接著地層隆起(如下圖說明)，加上長時間的風化作用，逐漸形成現在所看到的情形。

河流側蝕岩層(側面圖)	河流側蝕岩層(正面圖)	說明
		圖 4-8、圖 4-9 河水側蝕作用，造成岩壁中較脆弱的地方被侵蝕成一個一個的洞，河流中所攜帶的砂石也會加速磨損的速度。
		圖 4-10、圖 4-11 當地殼逐漸隆起，露出水面的部分會繼續受到風化作用的影響繼續被侵蝕，水中的部分也繼續受到水的力量侵蝕。
		圖 4-12、圖 4-13 最後整個地層的隆起，形成現在我們在粗子坑溪旁看到的

從上面的敘述與實際觀測的結果看來，我們修正後繪製的示意圖如下



研究五：燕子崖與龍宮瀑布的關係為何？

試驗一：蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布 3D 立體模型製作

過去，常以保麗龍或珍珠板製作等高線地層模型，用來了解研究地點在空間分布和地勢高度狀態，並且比較它和河流相對地層的關係。我們在進行野外調查時，到燕子崖和龍宮瀑布的路線不同，認為這兩個地點只是地理環境相似，因此被拿來做為這次的研究對象，但將 google map 打開後搜尋，看起來兩地距離不遠，於是開啟了我們以下研究。為了清楚了解蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布的地理位置的以及地層的關係為例，我們思考除了傳統的製作等高線地層模型外，是否可以藉用最新的 3D 列印模型來製作呢？因為科技的加入，不僅能使製作更為便利，也讓學習更有效率。因此經過資訊老師的同意，並且在他的指導下，於是我們嘗試著將 Google map 上等高線地形圖以 3D 列印的方式列印出來。

(一)實驗步驟及方法：

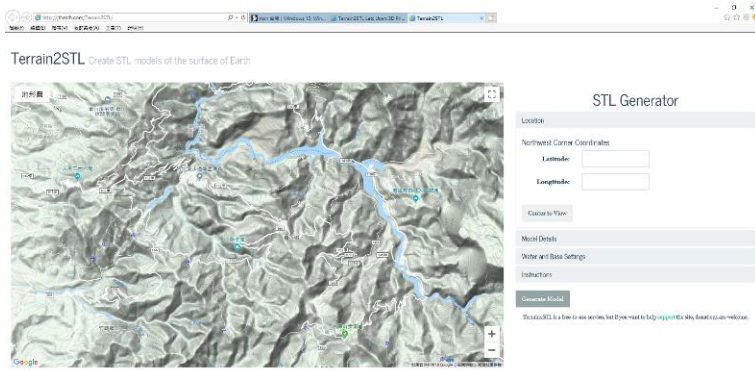


圖 5-1

1.在國外網站中搜尋到將 Google map 轉成 3D 列印圖檔的方法。網址如下：

<https://3dprint.com/83026/terrain2stl-3d-print-maps/>

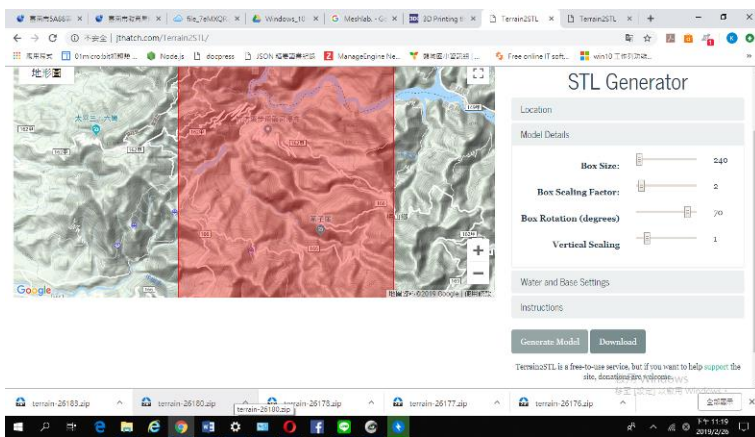


圖 5-2

2.在網頁中

<http://jthatch.com/Terrain2STL/>

找出想列印的範圍，並設定要列印的大小等參數。設定好後將 STL 檔下載下來。

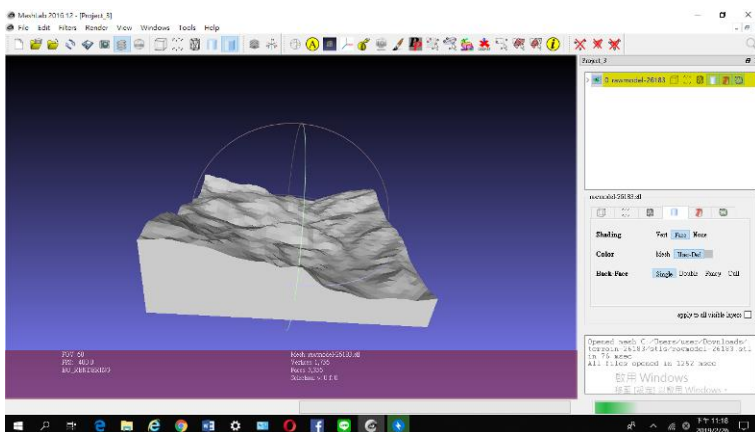
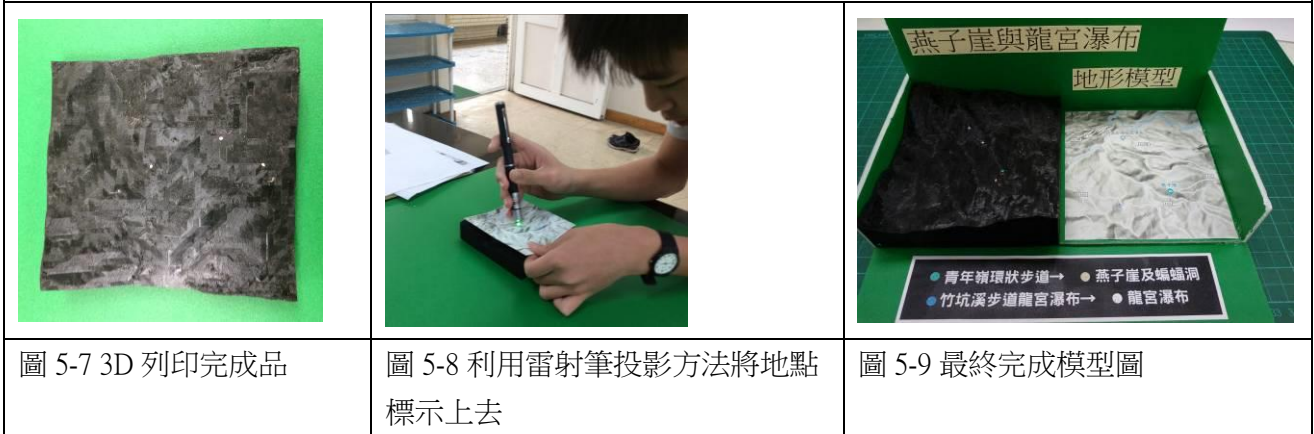


圖 5-3

3.由網頁中下載 STL 檔後，轉由 Cura 軟體設定模型切片等資訊，最後以 3D 列印軟體將 G-code 檔列印出來。



圖 5-4、圖 5-5、圖 5-6 3D 列印機列印中



試驗二: 擷取等高線地圖中的資訊

利用 google map 的功能測量出龍宮瀑布與燕子崖的直線距離為 2.33 公里，蝙蝠洞的海拔高度為 725m，燕子崖的海拔高度為 720m，龍宮瀑布的海拔高度為 720m。

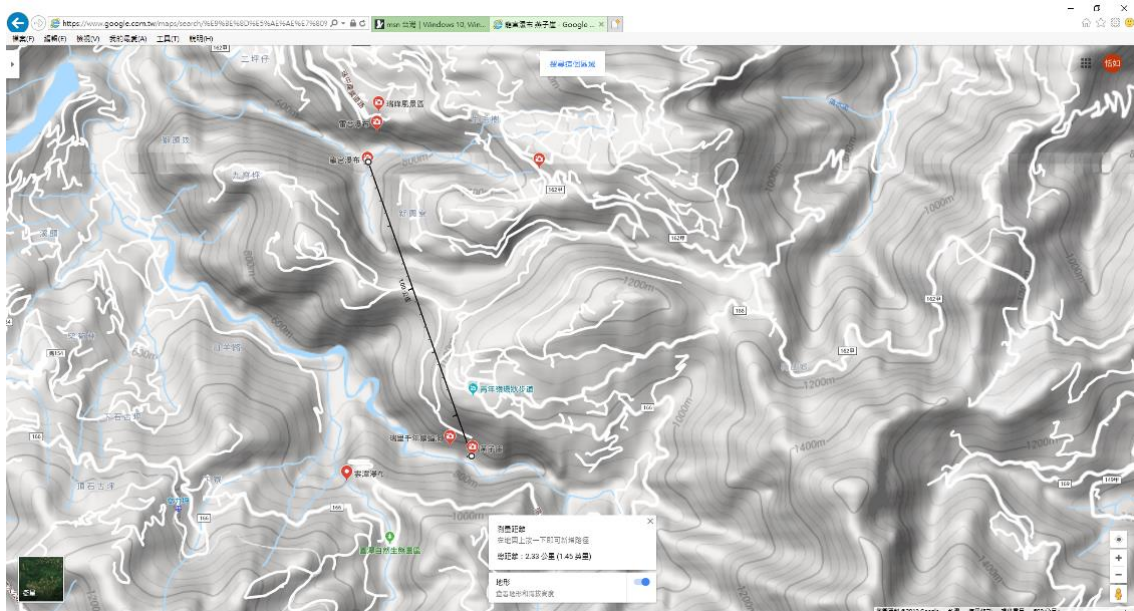


圖 5-10 Google map 等高線地形圖

試驗三：擷取地質圖的資訊

此地質圖黃色框框的地方為燕子崖及蝙蝠洞的地方，我們再根據等高線地形圖對照出龍宮瀑布的位置，發現龍宮瀑布與燕子崖及蝙蝠洞皆為卓蘭層。



圖 5-11 涵蓋嘉義縣瑞里蝙蝠洞及燕子崖之地質圖。編繪自比例尺五萬分之一地質圖雲林圖幅二版（劉桓吉等，2004）。

實驗結果：

透過 3D 列印的模型，再加上等高線地形圖和地質圖，我們可以更清楚的了解龍宮瀑布、燕子崖及蝙蝠洞的相對地理位置，而且更重要的是推測出龍宮瀑布的地層與燕子崖的地層為同一層，所以兩個地層看起來是如此相似，雖然兩地相隔兩公里多。此模型 3D 列印需花費將近 36 小時列印，過程又遇到 3D 列印機出問題(螺絲彈掉)，但在第 3 次後，我們成功的製作出完整的模型。

研究六：蝙蝠洞洞中岩石上的粉末為何？

「老天爺也愛戳戳樂」這份作品中提到蝙蝠洞當中有神秘的白色粉末，檢驗後發現是硫酸鹽類物質。我們實際到了蝙蝠洞也從石壁凹洞當中也發現了類似的粉末，到底這個神秘粉末是由什麼成分構成的呢？讓我們帶回到實驗室中，一起揭開它的神秘面紗！

圖 6-1 觀察蝙蝠洞石壁凹洞，發現裡面有粉末狀物質。	圖 6-2 粉末上面出現白色棉絮狀的結晶體，看起來毛毛亮亮的。	圖 6-3 一段時間後白色結晶物消失，粉末本身是灰綠色。

試驗 6-1: 蝙蝠洞上的粉末狀物質是否為硫酸鹽類？

1. 實驗設計：了解蝙蝠洞上的粉末是否為硫酸鹽類的物質。
2. 實驗材料：蒸餾水、野外取樣粉末、試管、燒杯、微量天平、硝酸鉍、硝酸鎂、氫氧化鈉。
3. 實驗步驟：(1)在燒杯當中倒入 50ml 的蒸餾水。
(2)使用微量天平量出 3g 的蝙蝠洞粉末。
(3)將粉末與蒸餾水均勻攪拌成水溶液，用滴管各取 5ml 滴入 ABC 三根試管中。
(4)取適量硝酸鉍、硝酸鹽與氫氧化鈉，分別加入蒸餾水均勻混和。
(5)分別滴入 1.5ml 的硝酸鉍、硝酸鎂與氫氧化鈉水溶液在不同試管，觀察結果。

圖 6-4 取出 3g 的蝙蝠洞粉末。	圖 6-5 蝙蝠洞粉末倒入 50ml 蒸餾水中攪拌均勻，水溶液顏色偏綠。	圖 6-6 把適量硝酸鉍、硝酸鹽與氫氧化加入蒸餾水，調成水溶液。	圖 6-7 不同試管分別滴入 1.5ml 的硝酸鉍、硝酸鎂與氫氧化鈉水溶液。



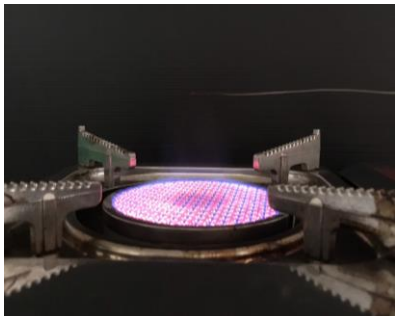
4. 實驗結果:

A 試管	B 試管	C 試管
圖 6-8 A 試管中加入硝酸鉍水溶液後產生白色沉澱物。	圖 6-9 B 試管中加入硝酸鎂水溶液後沒有沉澱物。	圖 6-10 C 試管中加入氫氧化鈉水溶液變成紅褐色沉澱物。


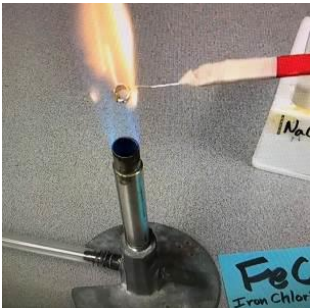
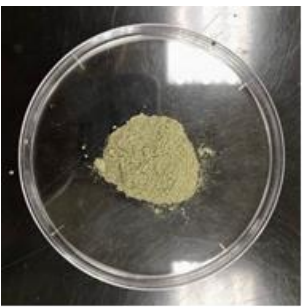

將 3g 蝙蝠洞粉末倒入 50ml 蒸餾水中，攪拌均勻調配成水溶液，發現蝙蝠洞粉末水溶液顏色偏綠色。再用滴管分別取 5ml 的蝙蝠洞粉末水溶液滴入 ABC 三根試管中，再分別倒入調配好的硝酸鉍、硝酸鎂與氫氧化鈉水溶液，觀察試管溶液的變化。試管 A 滴入 1.5ml 硝酸鉍水溶液後產生白色的沉澱物，我們調查資料發現，硫酸鹽或磷酸鹽物質都可能與硝酸鉍產生此反應。接著，在試管 B 中滴入 1.5ml 硝酸鎂水溶液後並沒有產生沉澱物，因此排除是磷酸鹽的可能性，這個蝙蝠洞粉末應該屬於硫酸鹽類。最後，在試管 C 中滴入 1.5ml 氫氧化鈉水溶液後底部先產生灰綠色的沉澱物，再慢慢轉變成鐵鏽般的紅褐色沉澱物，經由調查資料發現，這可能是蝙蝠洞粉末成分含有鐵質的證據。

試驗 6-2:以焰色反應分析蝙蝠洞上的硫酸鹽類粉末是否具有鐵質？

1. 實驗設計：了解蝙蝠洞上的硫酸鹽粉末成分中是否具有鐵質。
2. 實驗材料：鉑絲、瓦斯爐、黑色壓克力板、相機、藍色玻璃紙、蝙蝠洞粉末、蒸餾水
3. 實驗步驟：(1)取適當長度的鉑絲，尾端凹成小線圈。
(2)線圈浸泡蒸餾水後，沾取適量蝙蝠洞粉。
(3)把沾有粉末的線圈放置到藍色爐火(無火焰)上方燃燒。
(4)觀察粉末燃燒情形，並用相機鏡頭隔著藍色玻璃紙拍攝記錄。

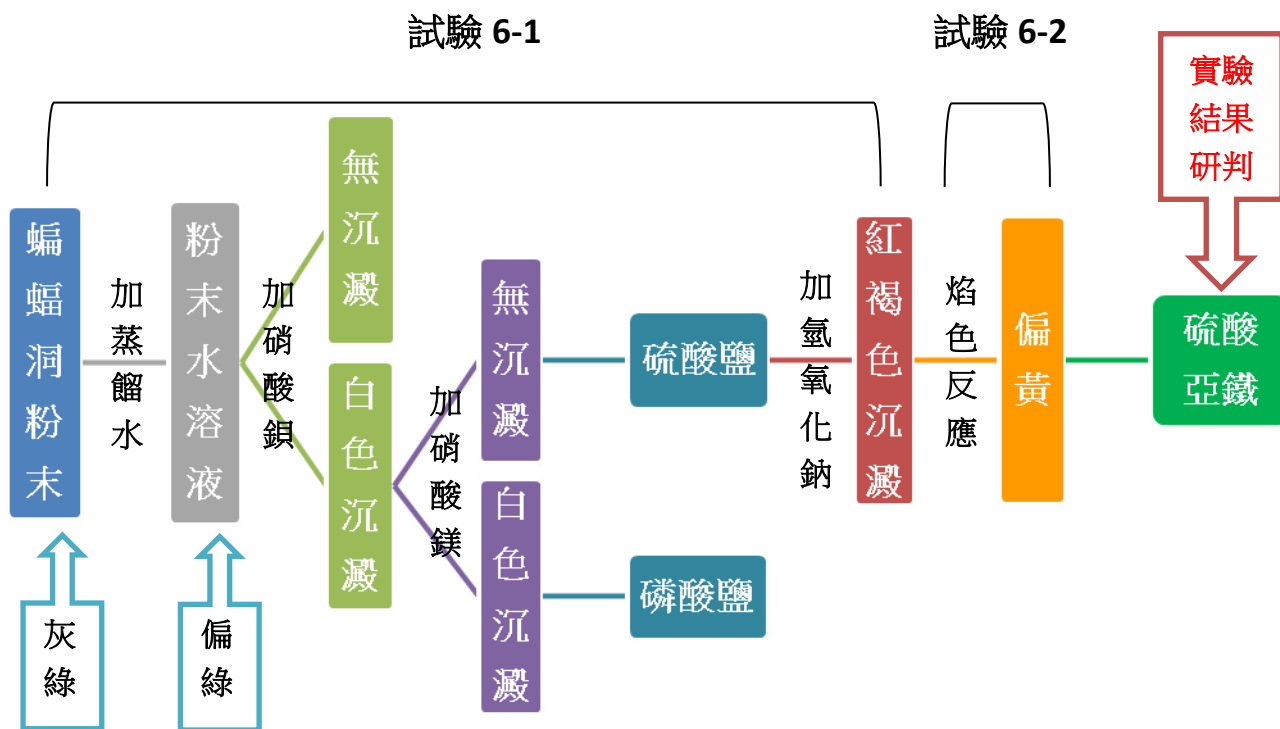
		
<p>圖 6-11 將鉑絲尾端凹成小線圈。</p>	<p>圖 6-12 線圈泡蒸餾水後，沾取一些蝙蝠洞粉末。</p>	<p>圖 6-13 把粉末放到爐火上面燃燒，觀察並拍下實驗結果。</p>

5. 實驗結果:

			
<p>圖 6-14 蝙蝠洞粉末在爐火上燃燒的焰色偏黃。</p>	<p>圖 6-15 鐵的焰色反應為金黃色（網路圖片）。</p>	<p>圖 6-16 蝙蝠洞粉末燃燒前為灰綠色。</p>	<p>圖 6-17 硫酸亞鐵粉末（網路圖片）。</p>

將沾有蝙蝠洞粉末的鉑絲線圈放置到藍色爐火(無火焰)上方觀察發現，粉末燃燒十分旺盛且焰色光偏黃。搜尋各種金屬物質焰色反應的顏色，發現金屬鐵在焰色反應中的顏色是金黃色，因此蝙蝠洞粉末成分可能有鐵質。根據試驗 6-1 與 6-2 的實驗結果，並且上網搜尋含鐵硫酸鹽類的相關資料，我們判斷顏色偏綠的蝙蝠洞粉末，主要成分可能是硫酸亞鐵。

圖 6-17 綜合以上試驗 6-1 與 6-2 的實驗結果：



研究七:龍宮瀑布岩石上的黃色粉末是否為硫化物?

在龍宮瀑布的石壁表面，我們發現了一種土黃色的沉積物，仔細一聞竟然有淡淡的硫磺味，這個神祕的黃色粉末到底是什麼？他和蝙蝠洞的粉末一樣是硫酸鹽物質嗎？讓我們帶回到實驗室當中一探究竟！

<p>圖 7-1 在龍宮瀑布岩石上，我們發現有些表面附著一種土黃色粉末。</p>	<p>圖 7-2 在岩壁表面發現一個大小約十元硬幣大的凹洞，裡面也有土黃色粉末。</p>	<p>圖 7-3 將粉末帶回實驗室觀察，發現這種粉末散發著淡淡的硫磺味。</p>

試驗 7-1:龍宮瀑布岩石表面的粉末狀物質是否為硫酸鹽類？

1. 實驗設計：了解龍宮瀑布粉末是否是硫酸鹽類物質。
2. 實驗材料：同試驗 6-1。
3. 實驗步驟：同試驗 6-1。

			
<p>圖 7-4 取出 3g 的龍宮瀑布粉末。</p>	<p>圖 7-5 龍宮瀑布粉末倒入 50ml 蒸餾水中攪拌均勻，水溶液顏色偏黃</p>	<p>圖 7-6 把適量硝酸鉍、硝酸鹽與氫氧化鈉加入蒸餾水，調成水溶液。</p>	<p>圖 7-7 不同試管分別滴入 1.5ml 的硝酸鉍、硝酸鎂與氫氧化鈉水溶液。</p>



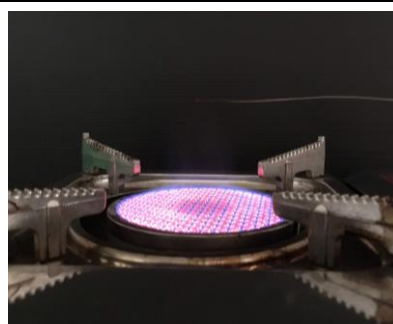
4. 實驗結果：

 <p>D 試管</p>	 <p>E 試管</p>	 <p>F 試管</p>
<p>圖 7-8 D 試管中加入硝酸鉍水溶液後產生白色沉澱物。</p>	<p>圖 7-9 E 試管中加入硝酸鎂水溶液後沒有沉澱物。</p>	<p>圖 7-10 F 試管中加入氫氧化鈉水溶液後產生紅褐色沉澱物。</p>

將 3g 龍宮瀑布粉末倒入 50ml 蒸餾水中攪拌均勻調配成水溶液，發現水溶液的顏色為黃色。用滴管在 DEF 三根試管中分別滴入 5ml 的龍宮瀑布粉末水溶液，再個別倒入調配好的硝酸鉍、硝酸鎂與氫氧化鈉水溶液，觀察溶液的變化。觀察發現，滴入 1.5ml 硝酸鉍水溶液的試管 D 產生了白色沉澱物，確定龍宮瀑布粉末為硫酸鹽或磷酸鹽物質。在試管 E 中滴入 1.5ml 硝酸鎂水溶液沒有產生沉澱物，因此龍宮瀑布粉末並非磷酸鹽，而是屬於硫酸鹽類。最後在試管 F 中滴入 1.5ml 氫氧化鈉水溶液後，溶液產生大量鐵鏽般的紅褐色沉澱物，經調查比對後，我們認為龍宮瀑布粉末也是屬於具有鐵質的硫酸鹽類。

試驗 7-2: 以焰色反應分析龍宮瀑布硫酸鹽類粉末是否具有鐵質？

1. 實驗設計：了解龍宮瀑布表面硫酸鹽粉末成分是否具有鐵質。
2. 實驗材料：同試驗 6-2。
3. 實驗步驟：同試驗 6-2。

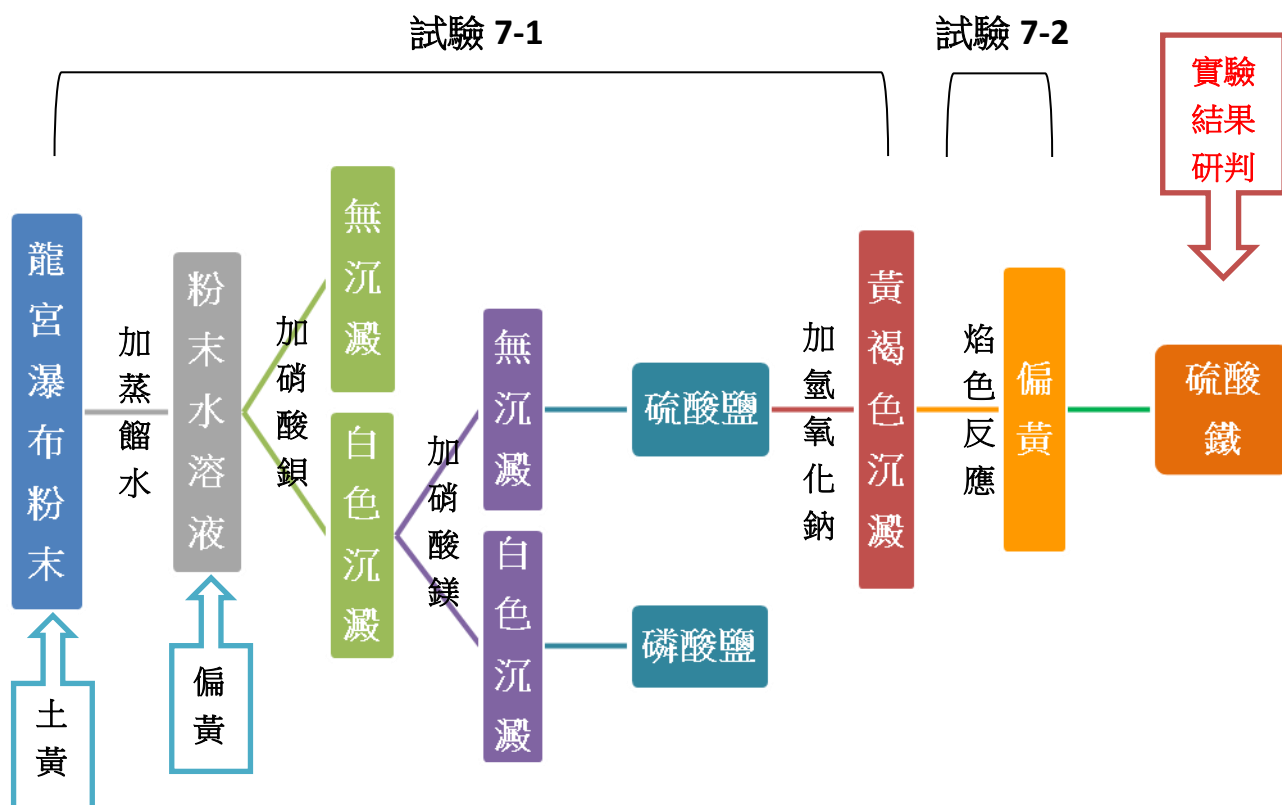
		
<p>圖 7-11 將鉑絲尾端凹成小線圈。</p>	<p>圖 7-12 線圈泡蒸餾水後，沾取一些龍宮瀑布粉末。</p>	<p>圖 7-13 把粉末放到爐火上面燃燒，觀察並拍下實驗結果。</p>

3.實驗結果：

<p>圖 7-14 龍宮瀑布粉末燃燒焰色細長偏黃。</p>	<p>圖 7-15 鐵的焰色反應為金黃色（網路圖片）。</p>	<p>圖 7-16 蝙蝠洞粉末燃燒前為灰綠色。</p>	<p>圖 7-17 硫酸鐵粉末（網路圖片）。</p>

將沾有龍宮瀑布的鉑絲線圈放置到藍色爐火(無火焰)上方觀察發現，粉末燃燒的樣子就像放鞭炮一樣噴出細長的火光，火焰顏色偏黃並飄出火藥味。觀察龍宮瀑布粉末的焰色反應發現，偏黃的焰光代表粉末材質中可能有鐵質，細長火光與火藥味則代表成分中富有硫磺。根據試驗 8-1 與 8-2 的實驗結果，與我們搜尋含鐵硫酸鹽類的相關資料比對，我們判斷顏色偏黃的龍宮瀑布粉末，主要的成分可能是硫酸鐵。

圖 7-17 綜合以上試驗 7-1 與 7-2 的實驗結果：



陸、討論

地質遺跡地質敏感區的探索討論

- 一、莊文星（2014）研究指出，多孔狀岩石的成因，一般是由不同風化作用單獨或共同合力所造成的，此種風化作用概稱為「孔狀風化作用」，其所造成的地形則稱為「孔狀風化地形」，在臺灣地區大都出現於海岸地帶。我們在蝙蝠洞所看到的地形，岩壁上之洞穴含有類似蜂窩狀小孔洞，就是差異性風化與侵蝕作用造成。再經由我們所設計的水蝕實驗證明，在瑞里所造成的燕子崖、蝙蝠洞，的差異性侵蝕形成的主要力量，就是粗紙坑溪的水。我們推想，由於地殼上升的時間差，位在燕子崖上層的蝙蝠洞，是較早沉浸在河水中的砂頁岩互層河谷的北岸，被水侵蝕出「孔狀構造」後，河流的下切作用，使河谷兩岸相對上升。當燕子崖浸泡在水裡的時候，這時蝙蝠洞已經離開水面，到較高的位置，水的侵蝕、溶蝕停止，只剩自然作用的風蝕，作用力減低，才有直到今天所表現出來的樣貌。這也是本研究所提出，燕子崖、蝙蝠洞外觀有很大差異的原因之一。莊文星（2014）針對「孔狀風化地形」研究發現，除了岩石本身組成或結構的內在差異所造成多孔狀岩之外，其餘尚有冰凍作用、溶蝕作用、生物侵蝕、鹽結晶作用等都可能造成此種多孔狀岩石。我們認為本區的特殊地形形成原因除了岩石本身組成和結構的差異外，水的侵蝕作用應該是主要的原因。
- 二、蝙蝠洞因河流側蝕作用與非均質岩性之岩壁因差異風化與侵蝕作用造成蜂窩狀外觀；燕子崖則於連續長跨距的泥質砂岩夾頁岩中，硬度較軟的頁岩層形成凹壁，硬度較硬的泥質砂岩層則形成凸出的崖壁（莊文星，2014）。我們在野外地質調查時發現，蝙蝠洞及燕子崖均含有貝類化石及生物擾動造成多種類之生痕化石，其中最明顯的就是「砂棒」。而我們在龍宮瀑布調查時也發現，頁岩中含有相同的話時。再比較內政部（2000）。台灣地區比例尺二萬五千分之一經建三版地圖，「草嶺」等高線地形圖發現，龍宮瀑布與蝙蝠洞及燕子崖均在同一高度，可見在地層構造上應該是屬於同一地層。近年來由於民眾及一般教育團體的戶外教學頻繁，龍宮瀑布與蝙蝠洞及燕子崖已成熱門景點，此種特殊的小地形景觀，是值得大家一探究竟，和進行戶外教學的重要學習點。但也因為這樣，這些敏感區域的地質構造，特別容易受到外力干擾和破壞，我們期盼遊客除了欣賞這特殊的地景外，應該注意安全，不要隨意改變或破壞景觀，以確保這種發育相當緩慢的景觀得以長存。

柒、結論

- 一、蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布附近的地質調查研究結果可以發現：這三地附近的地質皆為沉積岩，可由發現的貝類化石來驗證。而三地都是屬於砂頁岩互層，幾乎呈現水平排列，可見此地層從海底隆起到現在，並沒有很大的變化。
- 二、研究二中，我們發現蝙蝠洞的洞的深度並不均勻，大部分都是面對洞的左側深度較深，而蝙蝠洞位在河流的凹岸，侵蝕作用也較明顯，因此經由實驗證明，沖刷蝙蝠洞的水流方向應該是傾斜 30 度左右。而為了加速水流作用，我們在水中加入的小石子讓侵蝕現象更明顯，最後呈現出與蝙蝠洞相似的地形特徵。
- 三、研究三中，我們陶土和沙子模擬燕子崖及龍宮瀑布的岩層，發現當岩層結構膠結狀況不同時，會產生差異侵蝕，加上燕子崖及龍宮瀑布水平排列的地層，造就了現在這種特殊的地質景觀。

- 四、研究四及研究五中，發現蝙蝠洞的地層在燕子崖之上，形成時間也較早。而燕子崖水平沉積的岩層每層的質地較為均勻，蝙蝠洞水平層積的地層比較不均勻，因此受到河流的侵蝕下，蝙蝠洞產生一個一個較明顯的大洞。而相距兩公里多的燕子崖及龍宮瀑布，經我們由等高線模型及實際探查，發現兩者為同一地層。
- 五、研究六及研究七中，利用化學沉澱分析及焰色反應結果發現，初步分析蝙蝠洞白色粉末結晶為硫酸亞鐵，龍宮瀑布黃色粉末結晶成分為硫酸鐵。但我們認為這些粉末有可能是複鹽，並不是單純的化合物，因此實際結果需要我們更進一步探究。
- 六、臺灣地層有多處都為沉積岩地形，但像蝙蝠洞、燕子崖及龍宮瀑布這種特殊的地質景觀卻很少見，此三處皆為地質敏感區，在此旅遊時更應該注意自身的安全，期盼透過這三個地質遺跡的調查研究，能建立共同維護珍貴地質遺產的正確態度。

捌、建議

一、自然景觀的美與遊客安全的衡量

在三次的野外地質調查中，我們發現不管是蝙蝠洞、燕子崖或是龍宮瀑布常在步道邊發現很多土壤龜裂的情形(如下圖)

(一)從崩塌情形來看

		
<p>圖 8-1 頁岩經風吹日曬，而嚴重崩塌</p>	<p>圖 8-2 步道的底部的頁岩已崩塌</p>	<p>圖 8-3 樹根長到了頁岩層，造成嚴重崩塌，因此設置人工擋土牆</p>
		
<p>圖 8-4 露頭一下層的砂岩已崩塌。</p>	<p>圖 8-5 有許多崩塌的砂岩。</p>	<p>圖 8-6 凸出的岩層，隨時可能崩塌</p>

(二)從節理情形來看



從上面這些崩塌與節理看來，此三處存在很多不確定因素。在燕子崖下方已可見很多的頁岩崩塌情形，蝙蝠洞也見到兩條較大而直的節理面，要去龍宮瀑布的路上更可見到大規模的落石掉落及裂隙，這些很容易因為地震或颱風等天災，造成更嚴重的崩塌，我們認為應該商請相關單位及專家針對這些進行研究，並樹立一些警語，讓這些自然美景可以永存，也可以保障遊客們的安全。

二、設立龍宮瀑布為地質遺跡地質敏感區

從野外調查及實驗中，發現龍宮瀑布也具有特殊的地質景觀，除了有與燕子崖一樣的岩壁外，還有瀑布的產生，景觀的特殊性不會輸給蝙蝠洞及燕子崖，而蝙蝠洞及燕子崖在 104 年劃定為地質遺跡地質敏感區，像龍宮瀑布這種具有特殊地質、富有教學及研究價值的地形地貌，應該劃定為地質遺跡。而因為我們去龍宮瀑布的途中，發現有很多崩塌，甚至有很大體積的落石，因為這樣有發生地質災害的可能性，所以應該也要劃定為地質敏感區。故我們建議相關政府單位能派專家進行研究，並將龍宮瀑布劃定為地質遺跡地質敏感區。

捌、參考資料

何春蓀(1984)。普通地質學。台北市：五南。

林映萱、羅予婷、鍾忻芳(2015)。老天爺也愛戳戳樂?—瑞里蝙蝠洞的地質調查研究。中華民國第五十五屆中小學科學展覽會地球科學科作品。

經濟部(2015)。地質遺跡地質敏感區劃定計畫書，編號 H0011 嘉義縣瑞里蝙蝠洞及燕子崖。台北市：經濟部。

莊文星(2014)恆春半島滿州佳樂水地質地形自然景觀巡禮(二):蜂窩岩。國立自然科學博物館館訊，第 317 期，第六版。

內政部(2000)。台灣地區比例尺二萬五千分之一經建三版地圖，「草嶺」圖幅編號(9520-3)。台北市：內政部發行。

劉桓吉、李錦發、紀宗吉(2004)雲林圖幅及說明書(第二版)，五萬分之一臺灣地質圖第 38 號。經濟部中央地質調查所，共 65 頁。