
曾文溪沿線化石及地質地形教育初探

許崑泉^{1*} 楊政儒² 鍾廣吉³

¹臺南市立那拔國民小學

²臺南市立嘉南國民小學

³國立成功大學 地球科學系

壹、緣起

曾文溪是一條大家耳熟能詳的溪流，它也是嘉南平原最重要的一條河川，在水利方面提供了南部的的主要民生用水，但卻很少人去注意這條溪流的其他資源，如地質地形及化石景觀，是學生戶外教學的好去處。

曾文溪在水庫上游有許多地質構造景觀，記錄了台灣精彩的地體構造與造山運動證據，一路到了中下游的玉井及大內，更是古生物的天堂。另外，曾文溪的最大支流後堀溪沿線也出現了許多地質構造景觀，但化石區多出現在較上上游的關山里各支流中，記錄了寶島古環境的許多秘密。

貳、地質教育、環境教育與公民責任

一、是地質教育，也是環境教育，更是科學教育

地球科學涵蓋天文、大氣、地質和海洋等科學領域，而其中最容易讓學生看得到和摸得到的莫過於地質相關的課題，所以它是比較可以讓大家接近的科學。不同的地質現象有著不同的地質故事，不管從地質的作用或者從生物的演變，都有許多讓人驚豔的地方。

以台灣西南部的沉積岩地區為例，地層中砂岩、頁岩的厚度變化及岩性變化，所含化石種類及地層的褶皺、斷層現象，從幾百萬年的沉積環境演變至今，已紀錄了無數次的環境變遷，沉積構造及古代生物的變化，甚至地質災害的形成。不管是自然現象或人為因素的地質現象，都已提醒了我們環境保育的重要(陳文山，2011)。要理解或解決這些大自然的問題，必須重視科學教育，從小扎根，走到戶外實地觀察，知道這些過去的地質環境特色，找出最好的方法共同解決面臨的生活難題(如曾文水庫淤積問題或排砂對曾文溪河道的影響)，才不至於遇到環境議題就各說各話，沒有焦點。

*為本文通訊作者

二、知道自然規則並保護這片土地是公民的責任

在曾文溪流域這片土地曾經住過許多海洋性古代生物，有了牠們的存在，就是告訴我們，這些地方以前曾經是海域，曾是海水淹沒的地方，這些地方有牠們居住，就是告訴我們，古老的時候，也是很熱鬧的繁華地區。只是眾多的古代生物不是人類，而是形成這些化石的生物。化石能告訴的訊息是寶貴的，我們需要珍惜，但牠們也很脆弱，一經被破壞就失去牠們了(鍾廣吉，2014)。我們除了珍惜之外也要保護牠們，希望牠們永遠存在那裡。這也是公民的責任！

參、中小學生如何接近課本之外的地科教材

我們的世界原本就是由岩石所構成，雖然大部分的地球表面都是被水或植物覆蓋，甚至被鋼筋混泥土所遮蔽，沒有被挖開就永遠不會知道裡面的秘密，所幸在河流附近就可以看到這些景象。本校在曾文溪已深耕多年，對曾文溪流域的地質景象及化石分布，進行過多次的實地調查，所獲得的可靠數據及成果記錄，非常適合各級學校參考，前來實施戶外科學教育。

自然與生活科技領域在國小階段與本文主題比較相關的單元有「水生家族」(康軒)、「水生生物的世界」(南一及翰林)、「大地的奧祕」(康軒)、「變動的大地」(南一)、「地表的變化」(翰林)、「動物世界面面觀」(康軒)、「動物的生活」(南一)、「動物大觀園」(翰林)、「力與運動」(康軒及翰林)、「生物與環境」(康軒)、「永續家園」(南一)及「生物、環境與自然資源」(翰林)等單元。我們在野外的地質調查活動都可以發現這些課程的延伸，如水生動物家族與古生物和古環境的演變有關、變動的大地與內營力和外營力有關，其他礦物與岩石、風化與土壤、斷層與地震等現象都在野外可以觀察到(鍾廣吉等，2014)。

在國中階段有關地球科學的地質單元教材就更多了，包含生命的演化、板塊構造學說、壯麗的山河地貌、地層與地史、地球資源及環境保育等主題，但這些內容多數演變成考試的題目，很少可以變成生活中的科學，或拿來當成探究的問題，甚為可惜。

本文以台灣西南部為例，這裡的地層大約在前陸盆地中沉積的碎屑沉積物，盆地是西北淺、東南深。但是沉積過程中有海進及海退情形，海退時海底露出容易被侵蝕，海進時又有新的堆積物形成，在南部盆地沉降和沉積的速度都比較快，因此各地層南北部份的厚度會相差很多(陳文山，1994；陳文山，2011)。

尤其在曾文溪流域，我們實際上看到的大多數是砂頁岩互層，偶爾也會看到一些石灰岩。當沉積作用堆積為泥質岩層時顯示當時可能為深海，或為遠岸，或是流水能量較不強的搬運，但堆積砂質岩層的條件就可能為淺海域或為近岸或是流水能量較強的搬運，二者條件差異很大(鍾廣吉等，2014)。因此，由深海遠岸的海域演變成淺海近岸的環境

必造成部分的古代生物不能適應，有的因環境變化而死亡，有的是自然死亡，但這些生物也都曾有適合牠們的生存環境，死亡的生物最後只有部分形成化石。即由泥岩質演變到砂岩質地層堆積時常有多量的化石分佈於砂岩質夾層內；相反的，由淺海近岸的海域演變成深海遠岸的環境，也會讓一些古生物因不能適應而死亡。曾文溪在地球科學的地質單元相關的主題非常多，只要有空來走一趟，便可得到許多理論的印證。

肆、曾文溪流域的化石與地質地形教學資源

曾文溪流域的地質構造景觀及化石教學資源簡要介紹如后：

一、地質構造景觀與化石的相關性

在野外進行調查時，我們常常會發現地質構造非常壯觀，如褶皺、斷層、斷層擦痕、不整合、交錯層、波痕、順向坡、向斜或背斜等，我們讚嘆它們的天設地造，自然生成之妙，但卻也常常看不到任何古生物的蹤影。因為變質作用下古生物的結構已多數被摧毀，其他低度變質的岩層或許有機會找到牠們的蹤影，所以只有在沉積岩區才比較容易出現古生物的遺跡(鍾廣吉，2006)。例如曾發生莫拉克風災的獻度山，除了順向坡及深層崩壞，也發現了許多化石密集景觀，尤其在長枝坑層、糖恩山砂岩層及鹽水坑頁岩交界附近即出現許多扇貝及生痕化石密集層，這些地層都已非常接近變質岩區。(如照片 1、2)



照片 1 獻肚山上的糖恩山砂岩層與鹽水坑頁岩層間，在破裂的岩塊中發現許多扇貝化石。



照片 2 獻肚山崩落的岩塊層面可以發現許多生物活動遺跡(生痕化石)，熱鬧的程度有如一幅清明上河圖。

二、曾文溪流域地質景觀菁華介紹

曾文溪的重要性，除了水利及生態資源，尚有許多地質及化石景觀。根據交通的易達性及教學的適宜性，茲將本研究團隊近幾年調查之主要位置點標示如圖 1，本路線出露地層之地質年代表可參考「台灣西南部地區地層關係」(鍾廣吉，1999)。

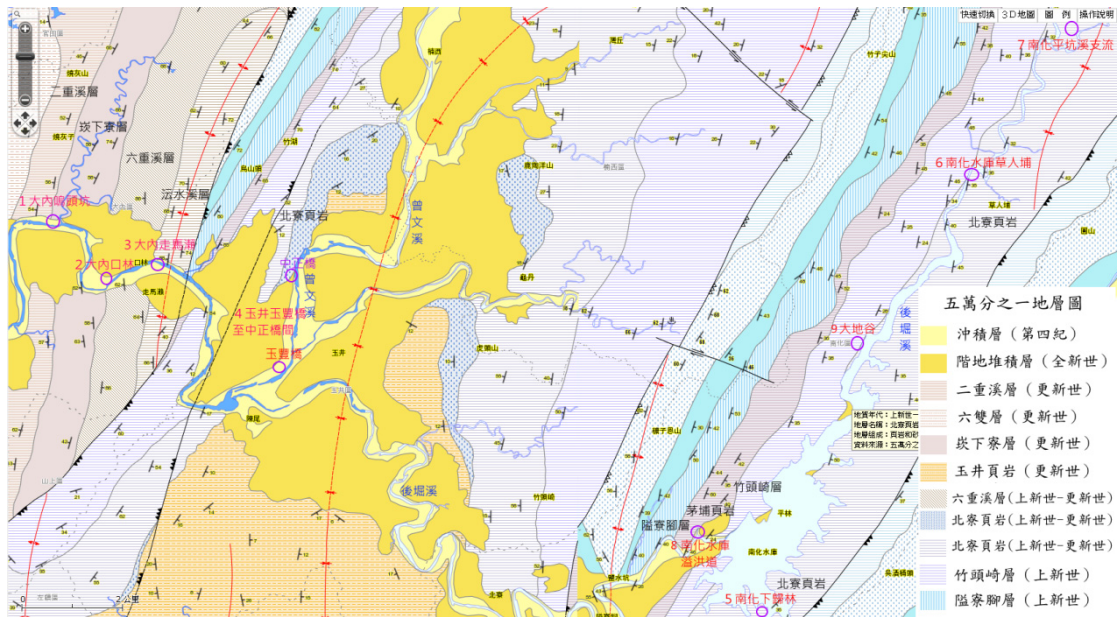


圖 1 曾文河流域重要地質構造景觀及化石觀察區地質圖(標示圓圈區域)

三、曾文河流域各露頭所發現主要化石種類及數量

(一)主要化石分布範圍

曾文河流域有一些化石重要露頭，種類亦有集中趨勢，尤其在玉井至大內一帶，六重溪層至北寮頁岩之間(胡忠恆、陶錫珍，2000)，主要化石生物種類及數量整理如表 1 及照片 3~6。

表 1 曾文河流域各露頭主要化石分布一覽表

地點 化石種類	1 大內 鳴頭坑	2 大內 口林	3 大內 走馬瀨	4 玉井 玉豐橋 至中正 橋間	5 南化 下歸林	6 南化水 庫 草人埔	7 南化 平坑溪 支流
海膽、海膽刺		◎◎	◎◎	◎◎◎	◎		◎◎
雙殼貝(斧足綱)	◎◎	◎◎◎	◎	◎◎◎	◎◎	◎	◎◎◎
螺貝(腹足綱)	◎◎◎	◎◎◎	◎	◎◎	◎◎	◎	◎◎◎
單體珊瑚	◎	◎◎◎	◎				
群體珊瑚			◎	◎◎◎			
螃蟹		◎			◎		◎
藤壺			◎			◎	

表 1 (續) 曾文溪流域各露頭主要化石分布一覽表

地點 化石種類	1 大內 鳴頭坑	2 大內 口林	3 大內 走馬瀨	4 玉井 玉豐橋 至中正 橋間	5 南化 下歸林	6 南化水 庫 草人埔	7 南化 平坑溪 支流
牡蠣	◎	◎◎		◎	◎		◎
生痕	◎◎◎	◎◎◎	◎	◎◎◎	◎	◎◎◎	◎
碳化木	◎	◎◎	◎	◎			◎
底棲性有孔蟲	◎	◎◎◎	◎	◎◎◎	◎	◎	◎◎◎

說明：◎◎◎表示數量多 ◎◎表示數量普通 ◎表示數量少



照片 3 曾文溪玉井段的壺穴區，發現水流經過的地方，有高低差，易成漩渦，壺穴較發達，地層裡有許多海膽化石。



照片 4 壺穴區北側出露的曼氏孔盾海膽 (*Astriclypues manni*)，中央突起、五個花瓣和邊緣的五個凹洞是牠們的特徵。



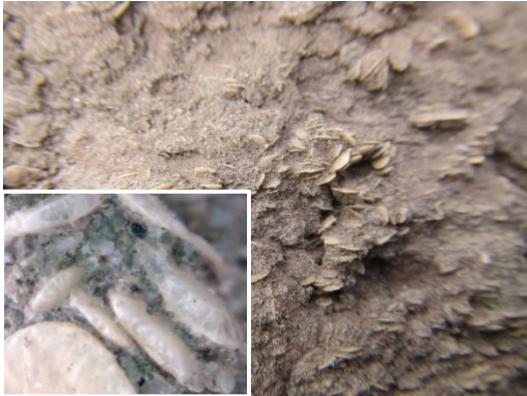
照片 5 在接近厚層砂岩區前有一規模較大的富含化石的地層，裡面堆疊許多海相化石。



照片 6 這個化石層的底部有扇貝化石密集層，並沿著地層層面分布。

(二)微體化石-有孔蟲

還有一類體型較小的底棲型有孔蟲也很值得一提，牠們是原生動物的一種，在曾文溪河床所發現的有孔蟲在地層裡分布的範圍很廣，有且多數出現在砂岩層的上部地層，也就是砂質環境要進入泥質環境的古海底層，牠們是可確定地質年代的標準化石，也是可了解古沉積環境的指相化石，並提供許多海洋生物的重要食物來源。(如照片 7、8)



照片 7 在砂岩層的上層有許多排列整齊的底棲性有孔蟲 *Rotalia* sp.，大致與地層平行，應該是沉積作用的結果。



照片 8 六重溪層下層所發現的底棲性有孔蟲 *Operculina* sp.，由外圍往內為右旋(隔片左彎)，表示為較溫暖的海域。



(三)珊瑚化石

很多單體珊瑚多數已不易找到，能在地層裡看到這些古代生物真的不容易，在曾文溪所看到的單體珊瑚至少已找到三種，而且都有相當的數量，應該也算是一個密集層，種類調查結果詳如表 2 圖示及說明。

表 2 曾文溪六重溪層單體珊瑚種類分析表

	正面	反面(或側面)	說明
第一類 錐形單 體珊瑚			側邊長度約在 3 公分上下，三種珊瑚中形體最大，數量也最多。在走馬瀨及口林曾文溪河床皆可看到這類珊瑚。
第二類 鞋型單 體珊瑚			葵珊瑚科 (<i>Heterocyathus aequicostatus</i>) 背面很像鞋子底部，並有兩個孔洞，一個比較大，而且每個個體都有此構造 (http://coral.aims.gov.au/factsheet.jsp?speciesCode=0895)

表 2 (續) 曾文溪六重溪層單體珊瑚種類分析表

	正面	反面(或側面)	說明
第三類 石珊瑚 單體型			單體小型石珊瑚比較常見，在新化丘陵二寮風景區、走馬瀨及口林曾文溪河床都有類似的珊瑚。

四、曾文溪流域各露頭所發現重要地質構造景觀

(一) 褶皺與斷層

曾文溪在台南市大內區鳴頭坑以上至嘉義縣茶山部落之間有許多地質構造景觀，其中最壯觀的莫過於斷層和褶皺。以大內區走馬瀨段為例，如果遇到乾季，就有機會可以進入河床一探究竟，發現最壯觀的斷層現象都發生在河床及曾文溪左岸。原來右岸不明顯的斷層線，在另一邊都出現了！你可以觀察到超過百米且露出地表的兩條斷層線(斷層泥)就在自己的眼前，而且斷層線上會發現許多斷層泥和斷層縫隙的碳酸鈣(或方解石)充填，化石因被破壞經壓溶作用(Pressure dissolution)容易產生岩體塑性變形(Davis, et al., 2011)。另外，本區域露出地表的斷層線近乎與曾文溪的流向平行，如果以量角器表示斷層走向，中小學學生將更容易理解，亦可統計斷層走向及集中趨勢。(如圖 2 及照片 9~12)

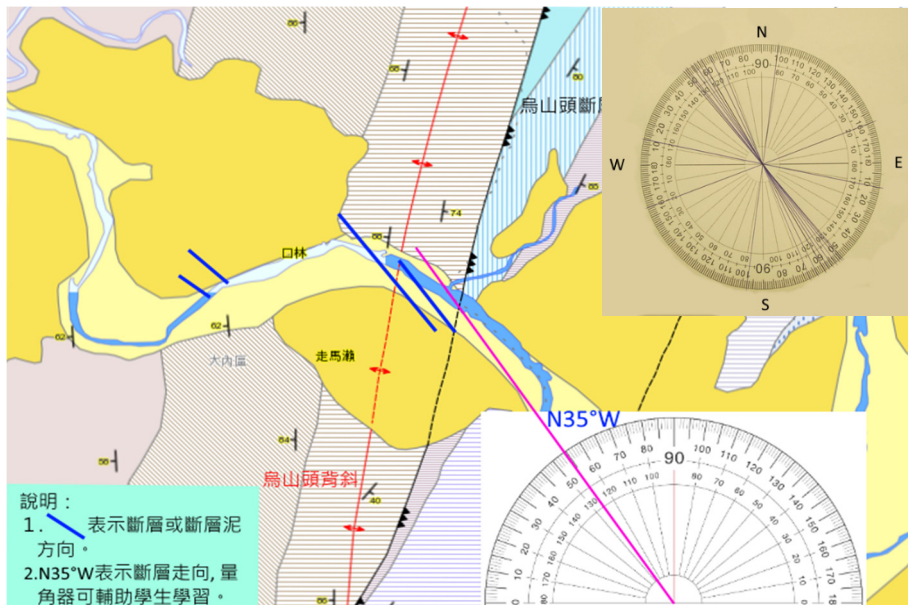


圖 2 曾文溪走馬瀨段小區域斷層示意圖 (修編自中央地質調查所地質圖)



照片 9 走馬瀨段曾文溪河床的斷層證據，棕黃色砂岩產生斷裂左移，且河水沿斷層線流動。



照片 10 曾文溪河床斷層的證據，發現斷層泥。



照片 11 曾文溪上游茶山橋-嘉 129 線 31km 附近為長枝坑層，在激烈的地殼運動產生許多褶皺或斷層現象。



照片 12 曾文溪沿線有許多地殼變動造成的斷層擦痕(slickenside)。

(二)曾文溪常見的沉積構造地質景觀

一般常見的沉積構造在曾文溪沿線都常出現，從曾文水庫最上游的茶山部落、大埔橋、大埔公園、曾文新村、走馬瀨、口林及鳴頭坑等溪畔都有壯麗的地質構造景觀，諸如頁砂岩互層與差異侵蝕、波痕、泥裂、交錯層、不整合與粒級層等，都是很吸引人的戶外教室。其它還有後堀溪的草人埔、南化水庫壩口溢洪道下的沉積地層與生痕化石也是非常特殊且不常見。(如照片 13~16)



照片 13(左)及 14(右)：於具有波紋的層面上之密集生痕化石，生痕為較細且彎曲的多重分支，而且為凹入層面者，可以指示產生波紋的流水能量不小，因濱面帶屬於高能量環境(陳文山，1994；鍾廣吉等，2014)，有別於凸出層面的生痕。(後掘溪草人埔)



照片 15 大內鳴頭坑曾文溪畔的交錯層斜面最大角度都不超過 26 度，推測可能是水中形成的交錯層。

照片 16 大內大匏崙曾文溪畔可見到頁岩層上面有一新地層的不整合，造成岩層的不連續。

五、戶外教學地點評估

一般戶外教學地點的選擇，多數缺乏評估因子的相對權重分析。因此本文試著以一些因子條件分析(如表 3)，試圖找出一些適宜的地質戶外教學地點，以提供大家未來規劃校外教學之參考。表 3 的因子分析主要以教學者的角度及學生的學習面向思考，雖不具百分之百的客觀性，但應可提供初步參考價值。

表 3 曾文溪流域地質戶外教學地點選擇因子分析表

條件 \ 地點	1 大內 鳴頭坑	2 大內 口林	3 大內 走馬瀨	4 玉井 玉豐橋 至中正 橋間	5 南化 下歸林	6 南化水 庫 草人埔	7 南化 平坑溪 支流
條件 1-交通便利性 (大巴 3 中巴 2 轎車 1)	2	3	2	3	3	2	1
條件 2-知名度 (多人知道 3 普通 2 少數 1)	1	1	3	3	1	1	1
條件 3-露頭路況 (明顯 3 普通 2 草多 1)	2	3	2	3	2	2	3
條件 4-季節影響 (四季皆可 3 春秋冬 2 冬 1)	2	2	1	1	2	1	1
條件 5-化石多寡 (密度高 3 零散 2 稀少 1)	2	3	2	3	2	2	3
條件 6-採集容易否 (易取 3 普通 2 不易 1)	2	3	2	3	2	1	3
條件 7-地景景觀 (豐富 3 普通 2 差 1)	3	3	3	2	2	3	1
條件 8-安全性 (安全 3 普通 2 差 1)	2	3	3	2	2	3	1
縱向總評(地點適宜性)	16	21	18	20	16	15	15

說明：3 分「最好」，2 分「普通」，1 分「差」。

伍、野外調查及戶外教學的一些心得

一、尋找化石的一些小技巧(以厚層泥質岩體為例)

- (一) 要有砂質地層夾層，比較容易找到這些化石。
- (二) 砂岩層厚度和長度也很重要，砂岩層的厚度太薄或距離太短都不太容易發現這些化石。
- (三) 砂岩或頁岩厚度不能太厚，因為太厚的砂岩層可能淺海或近岸的時間太久，環境變動小，可能自然死亡的量並不是太多，可以形成化石的機會也相對減少。反之太厚的頁岩層因深海或遠岸的時間太久，環境太久沒變化也不容易有古生物的大量遺骸形成化石。總而言之，在砂岩地層發現古生物的機會總是比頁岩或泥岩地層多。
- (四) 要有砂頁岩互層，才容易有化石的出現。因為深海變淺海或淺海變深海，古生物比較容易適應不良，自然死亡及環境變化死亡的總量形成化石的機會應該比較多。曾文溪在玉豐橋下及口林附近有兩處密集的貝類化石密集層，都出現在砂頁岩互層區

域，同一種類生物個體大小都有，判斷可能是災難(或環境變化)的大量死亡，與個體約同大小的自然死亡不同。

(五) 附近如果有發現方解石或方解石脈，也很容易可以找到化石，因為方解石(脈)可能是有些化石溶解後再結晶留下來的證據。

二、曾文溪流域地質戶外教學路線介紹

本文介紹筆者服務的學校曾經辦過的七條科教戶外教學路線，供大家參考。以下所規劃之路線租用中大型遊覽車及步行 30 分鐘內可到達。依據圖 1 標示地點介紹如下：

- (一) 大內鳴頭坑曾文溪畔：可觀察項目有差異侵蝕現象、河階台地、曲流地形、密集化石層、不整合及交錯層等沉積構造。
- (二) 大內口林曾文溪畔：這是一個戶外教學的絕佳場所，地質構造景觀特殊，岩層間有許多斷層現象，在砂頁岩互層間可以看到不同古生物的變化，以及許許多多的沉積構造等。
- (三) 大內走馬瀨曾文溪畔：走馬瀨橋的西側約 300 公尺內都可以見到許多斷層現象，並有綿延幾十公尺的斷層泥，甚至幾乎與曾文溪流向平行，相當特殊。其他還有個體較為小的幾個化石層，如單體珊瑚、藤壺、海膽及海膽刺等。
- (四) 玉井玉豐橋至中正橋間：觀察重點為石灰岩大礫石、呈層海相化石層、鈣質砂岩層內之化石層、生痕化石、分辨化石類別、河階台地觀察及特殊地質景象-壺穴調查等。
- (五) 南化水庫東側下歸林至省道台 20 線與關山產業道路交叉處：主要地質景觀有沉積構造與生痕、糖恩山砂岩層的扇貝群、螃蟹化石及治山防洪攔砂壩的功效。
- (六) 南化水庫草人埔(關山九號橋)：路雖遙遠，但地質景觀具教學意義，可以觀察的項目有順向坡、曲流、砂頁岩互層及其他多樣性的沉積構造等。這是一個生痕化石的天堂，生痕的樣式種類非常多樣性，有很多生痕都是文獻很難查得的。
- (七) 南化水庫上游平坑溪支流：這裡溪流雖小，但溯溪往上可以發現不起眼的溪流瞬間變成了化石天堂，古生物種類繁多，諸如海膽、扇貝、牡蠣、有孔蟲、生痕、小塔螺及種類數不清的雙殼綱貝類等，其他還有沉積構造、斷層擦痕及特殊壺穴地形等，但路程遙遠，來回至少要花上一天時間。

三、地質史如何轉化為地質小故事

地質學可以講得很生硬，也可說得很生活化，所以要轉化給中小學生的地質概念有很多都可以故事化，但這些故事化的內容並非無科學根據。

遠在達爾文曾經目睹大地因地震隆起超過數十公分，地震前原本埋在海灣內的部分，

在地震後一夕之間浮到了海面上，這是地殼隆起首次被科學家看到。所以在達爾文時代人類早就知道地面會透過很長的一段時間慢慢下沉和隆起，因此貝類遺骸在 20 萬年間如果被抬升 300 公尺就不足為奇了(北村雄一，2011；Benton and Harper, 2009)。均變論學說(Uniformitarianism)中精髓的一句話就是：『現在是通往過去的一把鑰匙』(The present is the key to the past)，因此在曾文溪沿岸仔細觀察都可發現這些地質史或地質故事。

以曾文溪流域為例，在大內及玉井這一段河床裸露的岩盤內的眾多化石原來都是生活於海水域的生物群落，這些遺骸堆積的時候也是在海水的環境條件，但現在都出露在陸地溪流的河床岩盤，原為滄海，現已成桑田，大自然顯示的變化動能能量是太大了，無法估計，這些化石的存在再出現就是告訴我們：這是個不安定的地球，古老時期是海域，現在已成陸域，這是千真萬確的事實(鍾廣吉，2014)。

例如曾文溪口林段兩岸的地層為六重溪層，測得一處地層走向約為 $N2^{\circ}E$ 及傾斜角約為 63 度，向西傾斜。所以從西側(上層)往東側(下層)將地層及古生物做一初步調查，結果繪製成一立體模型(圖 3)。這些砂頁岩地層就可以敘說一些海進(陸降海升)海退(陸升海降)及古生物繁衍過程的小故事，希望可以吸引大家一起想像這裡曾經歷經的古環境如何與古生物共組一個神祕的海底世界遊樂園。

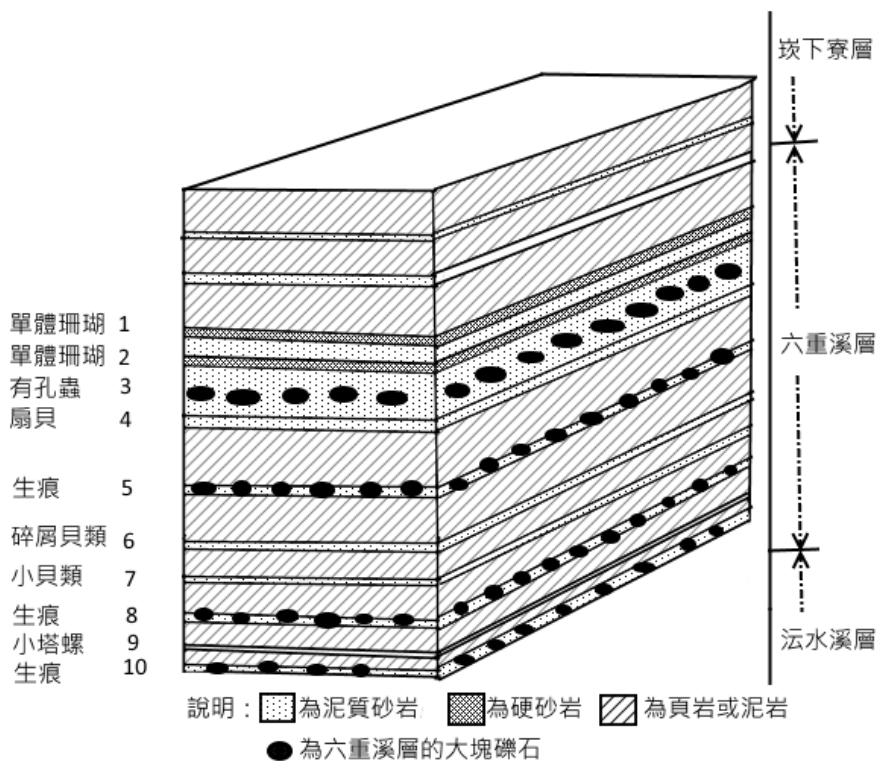


圖 3 曾文溪大內口林段六重溪層地層及化石分布剖面圖

陸、結語

前台大地質系王執明教授曾說：「岩石本身就是一項良好的紀錄，記載著許多我們短暫生命中無法看見的事實。」因此我們在曾文溪流域所見到的沉積岩區即可發現許多這樣的例證，不管從人文或科學的角度，今與昔的變化，就可譜出許多科學性的小故事。

分佈在曾文溪河床兩岸的地層是有先後順序的，大概是愈近上游地質年代愈久，愈下游就愈晚，沿途除了有壯觀的地質構造景觀外，也記錄了許多台灣西南部的陸地與海域的演變，曾文溪的沿線地層也是經由海進海退慢慢形成的，如果再配合地質與地震、地球物理的資料，就可以勾勒出今日台灣島的各式豐富面貌(陳培源，2006)。在古生物方面，下游的化石生物也許就是上游化石生物的後代子孫，這些有趣的課題很值得大家來一探究竟，其他尚有許多具有價值的科學性議題，有很值得大家一起來探究。共勉之！

參考文獻

- 高詹燦、黃正由(譯)(2012)。化石，地球生物演化的證物！(原作者：北村雄一)。新北市：瑞昇出版社出版。(原著出版年：2011)
- 胡忠恆、陶錫珍(2000)。臺灣貝類化石誌(第五卷，第四冊)。台北市：中華民國化石礦物協會。
- 陳培源(2006)。臺灣地質。台北市：科技圖書。
- 陳文山(1994)。臺灣的生痕化石。臺北縣：中央地質調查所。
- 陳文山、何信昌、王源、楊昭男、高銘健、張益生、鄂忠信、陳勉銘(1994)台灣西南部上新統至更新統的岩象學研究與地層對比。經濟部中央地質調查所特刊，8。
- 陳文山、黃能偉、楊志成(2011)。臺灣西南部更新世沈積層序特性與前陸盆地演化。經濟部中央地質調查所特刊，第二十五號。
- 鍾廣吉(1999)。臺灣西南部地區特殊地景簡介。行政院農業委員會發行，第1-49頁。
- 鍾廣吉(2006)。台灣的化石。台北縣：遠足。
- 鍾廣吉、許崑泉、鍾儀仁(2014)。臺南市楠西玉井至走馬瀨間曾文溪河床的化石眾生相。台南市：台南市政府文化局。
- 鍾廣吉、許崑泉、楊政儒、蔡啟漳、鍾儀仁(2014)。臺南市沿海區多變化的沙灘、潟湖景像。台南市：台南市政府文化局。
- Benton, M. J., and Harper, D. A. T., 2009. Introduction to paleobiology and the fossil record: Chichester. UK. Wiley-Blackwell.
- Davis, G.H., Reynolds, S.J., and Kluth, C.F., 2011. Structural Geology of Rocks and Regions (3rd edition): John Wiley & Sons, Inc.
- 台灣地景保育網, 2015年擷取自 http://140.112.64.54/comm/publish_pub.php?Pub_Sn=37&Sn=280
- 台灣第一位女地質學家-王執明, 2015年擷取自 <http://web.pts.org.tw/~web01/female/w8.Htm>.