

第二屆旺宏科學獎成果報告書

好漢不提當年勇！

- 白沙灣現生螃蟹痕跡與生痕化石比對之應用

研究者：蘇上凱

學校：台北市立麗山高級中學

指導老師：萬義昺老師

一、摘要

本研究目的在於探討螃蟹的大小、種類與洞之關係；氣溫對洞穴大小的影響。

本研究推導出了十組公式，可以由生痕化石的各項數據推測出螃蟹的大小：

1. 螃蟹直向大小與洞穴總長關係 ($y = 28.301x^2 - 152.05x + 221.4$) ;
2. 螃蟹橫向大小與洞穴總長關係 ($y = 12.042x^2 - 84.167x + 164.21$) ;
3. 螃蟹直向大小與洞口周長關係 ($y = 4.4351x + 1.0936$) ;
4. 螃蟹橫向大小與洞口周長關係 ($y = 2.8758x + 2.9968$) ;
5. 螃蟹直向大小與洞口直徑關係 ($y = 1.879x - 0.5038$) ;
6. 螃蟹橫向大小與洞口直徑關係 ($y = 1.2198x + 0.2967$) ;
7. 洞口直徑與當時氣溫關係 ($y = 2.7269x + 5.0127$) ;
8. 螃蟹直向大小與洞穴深度關係 ($y = 14.132x - 3.5485$) ;
9. 螃蟹橫向大小與洞穴深度關係 ($y = 9.2035x + 2.3537$) ;
10. 螃蟹橫向大小與螃蟹直向大小關係 ($y = 0.6475x + 0.4329$) 。

結果發現螃蟹大小、氣溫等兩項與洞的大小有較直接的關係；由其中的九組公式發現：洞口直徑、洞穴總長、洞穴深度、洞口周長及氣溫對蟹的橫向長度與直向長度的關係，及一組螃蟹本身的橫向大小與直向大小的關係，發現各自互相都有關聯。

二、研究動機

臺灣為新褶曲山脈之抬升島嶼，因此島上可見許多原本形成於海邊或海底之生物遺跡、遺骸等生物化石，但從未有人深入探討此生物遺跡在它形成前，造成它的生物之大小或如何造成的（丁，1986；洪，1998）。

地球科學課程中也有提到古生物的屍體沉積會變成動物遺體化石，而少部分動物的活動痕跡會被填充成為生痕化石。可是就僅寫到這為止，但如何由生痕化石來推測造成化石的生物？是否可利用現生生物與他們製造的環境來類比古時形成生痕的生物？

鑑此，蒐集了許多有關生痕化石之書籍來查閱，卻發現大部分的介紹，皆著重於判定生痕化石相，並沒有對造成的物種多做說明。因此嘗試以研究現生螃蟹所造成之洞穴來比照已知的生痕化石，希望能有助於了解生痕化石與造成物種之關係。

本研究主題與教材相關部分如下：

	主 題	與生痕化石相關的現象	出 處
1	生痕化石的由來	沉積岩具有什麼特徵？	基礎地球科學 5-1.2
2	化石的形成	古環境變遷	物質科學地球科學篇 6.2

三、研究目的

- (一) 瞭解螃蟹的大小和棲息洞穴直徑、周長及洞穴總長的關係。
- (二) 瞭解氣溫和洞的形狀的關係。

四、研究設備器材

- (一) 灌模器材：石膏、桶子、採集盒、溫度計、水。
- (二) 野外調查器材：相機、手電筒、皮尺、圓鋤、鏟子、地圖、標籤、標本袋。
- (三) 室內整理、分析器材：牙刷、毛筆、Excel 軟體。

五、研究步驟

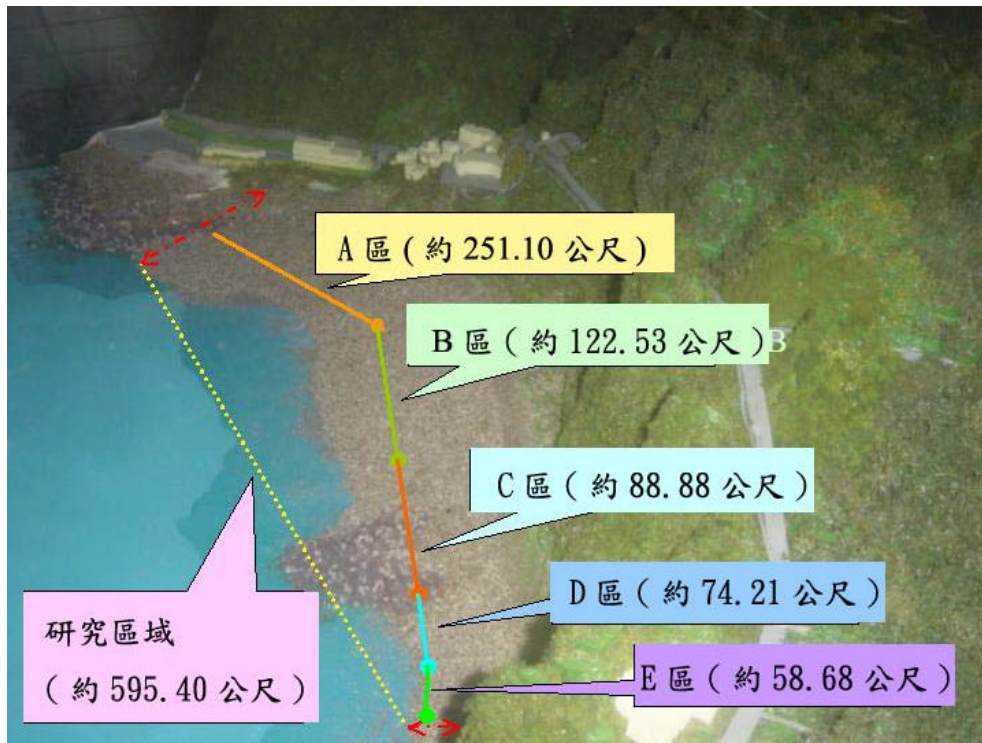
(一)、採樣地點與標本種類

本研究設定的採樣地點在三芝鄉的白沙灣，經過多次實地考察後，發現此地螃蟹具有下列共同的特徵：1.頭胸甲呈方形，2.背甲後部有兩個棕褐色斑，3.眼柄粗短，4.角膜長圓球形呈白灰色，5.頂端有一角狀突起，雌蟹或幼蟹角狀突起較短或無，6.白色螯足左右不等大；以上都是角眼沙蟹（*Ocyropsis ceratophthalmus*）的特徵，因此可推斷白沙灣的蟹種單純。故本研究中均以角眼沙蟹作為研究對象。角眼沙蟹的特徵與大小定義詳見附錄一。

要發現此蟹的洞，必須於低潮前約兩小時（李，2001），才可看見，否則常會找不到洞；蟹洞大致分布於高潮線上，雖不會被海水蓋過，但還是無法發現洞，以致於也會像其他低潮線的螃蟹一般，不好分辨；太過於晴朗的天氣也不適合觀察，因為白沙灣的海風頗大，晴朗的天氣就會相伴著極大的海風，洞口也會被海風所帶來的沙給掩埋；且白沙灣在夏日時的往來遊客較多，因此在夏日白天人潮較多時，螃蟹也會躲在洞裡，必須仔細觀察。最好觀察時機是在下午，下午人潮較少，一來比較不會打擾觀察，二來下午快傍晚時，螃蟹也會出來活動；綜合以上幾點，依照經驗法則知，最好的觀察時間是：低潮時的下午時分，且天氣陰涼時最為妥當！

(二)、野外採樣

1. 因為螃蟹在退潮時才會出來活動，每次出發前須先找到漲退潮時間，以決定最佳的外出採集日期與時間。
2. 本研究設定採樣的沙灘約長 595m，為採樣方便，按螃蟹洞口數目多寡將之分區，編號為 A~E，劃分依據主要是以螃蟹洞數量每 20 個洞為一區。此後研究採樣的五區皆以此為基準。示意圖如下：



圖一 樣本採集地點分區示意圖

3. 研究過程中共出過五次野外進行樣本採集工作，每次採樣約可製作六個模型，模型總計有 30 個，能確定挖掘洞穴的螃蟹種類的模型共約 20 個，故在本研究中的有效樣本即為 25 個。
4. 採樣步驟：
 - (1) 選取可能有螃蟹躲藏的洞穴。
 - (2) 先測量洞口大小及當時氣溫。
 - (3) 找出造成的螃蟹，觀察並記錄其特徵、大小、種類等。
 - (4) 把石膏粉用海水調開，灌入洞中。
 - (5) 等到硬化之後把模型取出，約需十幾分鐘至數十分鐘。
 - (6) 進行模型編號。

(三)、灌模材料與實驗性灌模

研究中灌模的材料使用石膏 ($\text{CaSO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)，由於石膏粉加水後會成液狀，有較好塑性，且凝結速度很快，不會因為凝結時間過久而變形；同時滲透壓高，不易滲進旁邊的沙裡，可以保持模型的完整性。灌模的過程中發現石膏此種材質有下列缺點。缺點一，因為石膏呈液體，倒進洞口時會稍稍破壞

掉洞口原有形狀；改良方法是利用高一化學課中所提，利用攪拌棒當支柱，讓石膏順著棒子流下，以減少洞口的破壞。缺點二，因為石膏在地底凝固，所以在凝固時會有沙子摻在石膏模型裡；改進方法是取出模型後，趁石膏還尚未全乾時，利用少量的清水把附著在表面的沙沖掉，以免凝固時石膏裡含有沙，破壞石膏的堅硬度而導致容易斷裂。缺點三，因有部分模型是在冬天時完成的，由於冬天時白沙灣的天氣又冷又濕，易導致模型在取出時即斷裂。經過許多接著劑試驗後，發現石膏凝固後會吸水，以致於許多液態接著劑皆無法使用，如 AB 膠、瞬間膠、白膠 等；後來採用石膏加水當接著劑，再以木樁為輔，發現效果不錯，即可接合；又因為我們如果利用石膏接著，會多出額外的長度，因此在接合前即必須把總長度量好，以免產生誤差！

(四)、灌模過程

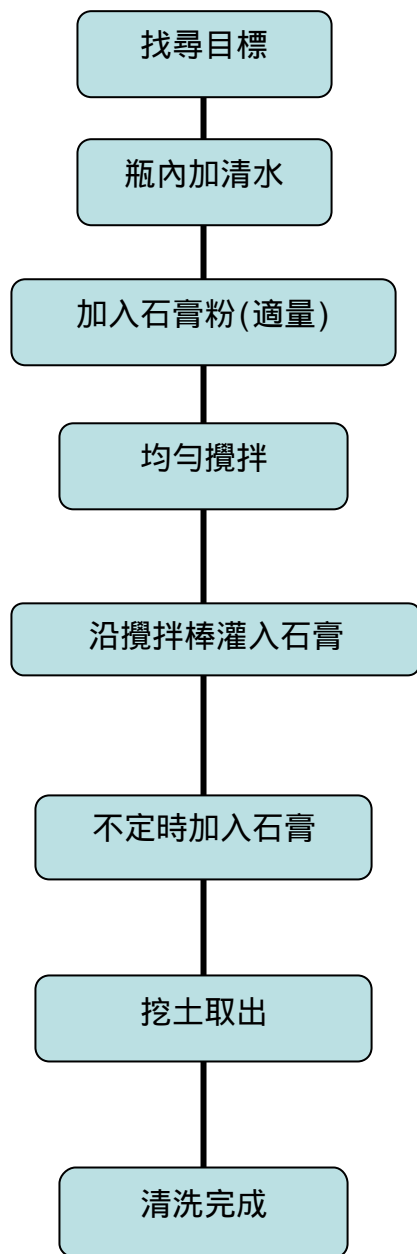
研究中灌模均在野外採集現場進行，現在此簡單將灌模步驟介紹如圖二 圖七：



圖二 在瓶內加入清水，水量多寡依洞口大小而定



圖三 加入適量石膏粉並均勻攪拌



圖四 沿攪拌棒把石膏倒入洞內



圖五 不定時加入石膏（因為石膏內有空氣，所灌石膏會一直下陷）



圖六 等待凝固



圖七 挖開並清洗沙土即大功告成

(五)、室內分析

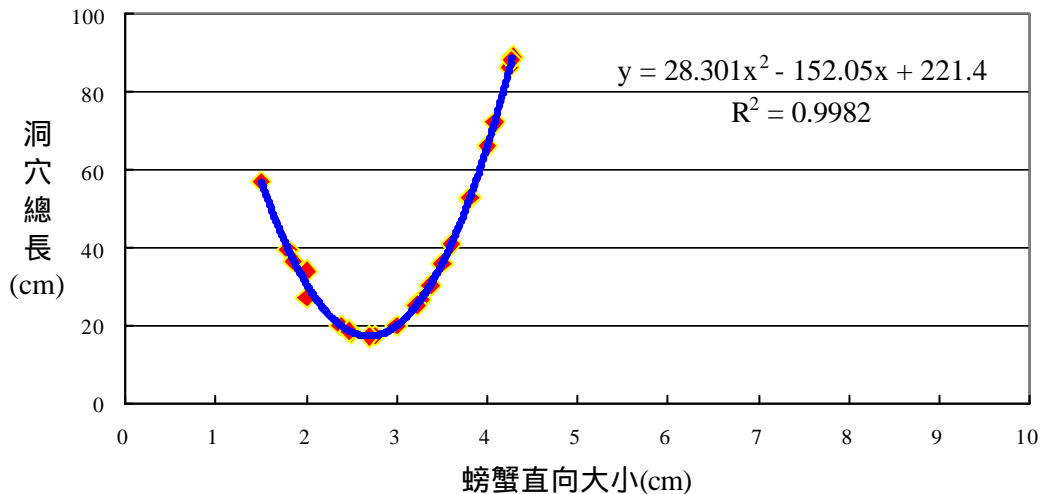
1. 觀察並記錄各個模型的主幹深度、洞口直徑、洞穴之總長度及此造成洞的螃蟹種類顏色、性別、大小等來紀錄。
2. 做模型間的比對，研究模型外觀特徵是否有異同。
3. 以有效樣本資料進行分析，找出洞穴與螃蟹大小知間的關係。

六、研究結果

依所找到的螃蟹和棲息洞穴的數據，利用 Excel 推算出十組公式，分別列於圖八~圖十七，並說明如下：

(一)、螃蟹直向大小與洞穴總長之關係

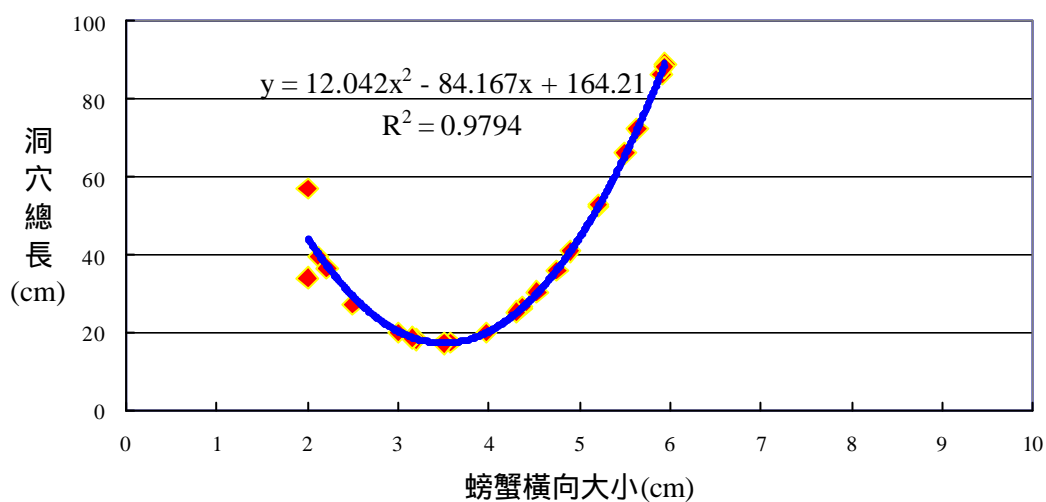
由樣本資料求得公式為 $y = 28.301x^2 - 152.05x + 221.4$ 。由圖八可知，當螃蟹直向大小大於 2.75cm 時，直向大小越大，洞口總長就會越大；但當螃蟹小於 2.75cm 時，則有相反的結果，是否因螃蟹還太小，無法自行築洞穴，會居住在較大螃蟹所築的洞中（當螃蟹直向大小為 1.5cm 時，洞穴總長為 57cm；大小為 4.28cm 時，總長為 89.04cm），則需要進一步研究證實。



圖八 螃蟹直向大小與洞穴總長之關係圖

(二)、螃蟹橫向大小與洞穴總長之關係

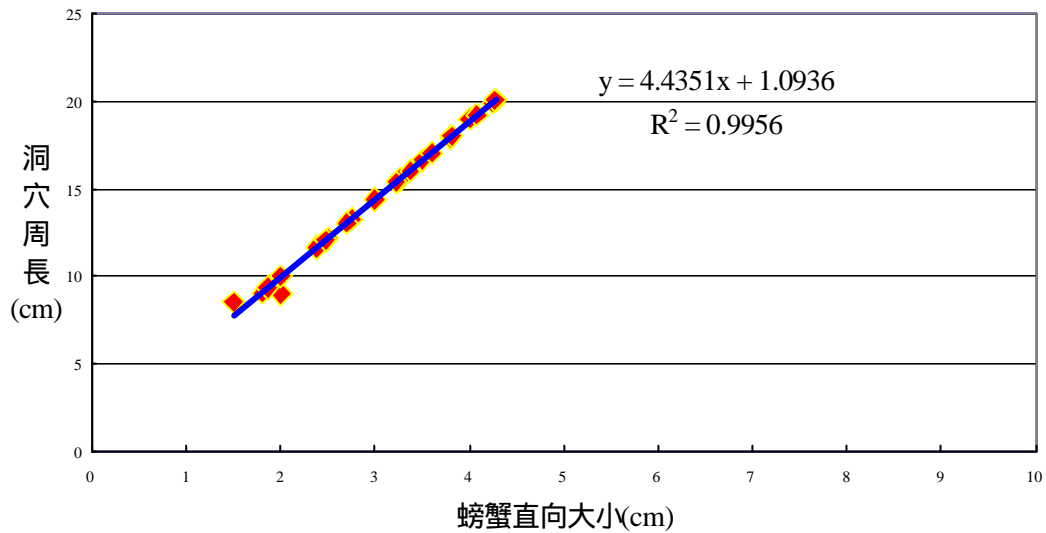
由樣本資料推得公式為 $y = 12.042x^2 - 84.167x + 164.21$ 。由圖九可知，當螃蟹橫向大小大於 3.5cm 時，橫向大小越大，洞口總長就會越大；但當螃蟹小於 3.5cm 時，則有相反結果。是否因螃蟹還太小，無法自行築洞穴，會居住在較大螃蟹所築的洞中（當螃蟹橫向大小為 2.11cm 時，洞穴總長為 39.4cm；大小為 5.9cm 時，總長為 86.36cm），則需進一步研究證實。



圖九 螃蟹橫向大小與洞穴總長之關係圖

(三)、螃蟹直向大小與洞口周長之關係

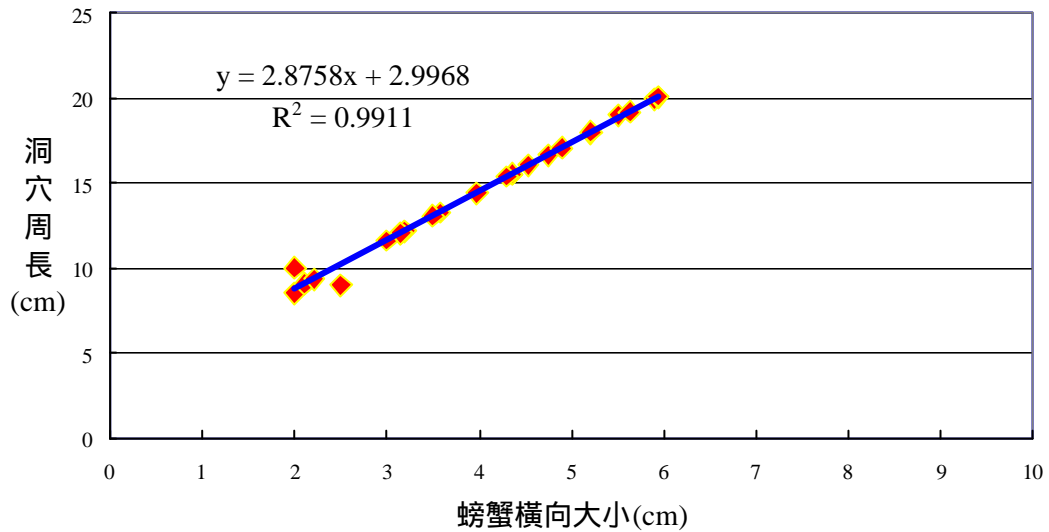
由樣本資料推得公式為 $y = 4.4351x + 1.0936$ 。由圖十可知，當螃蟹直向大小越大時，洞口周長就會越大（當螃蟹直向大小為 1.5cm 時，洞口周長為 8.5cm；大小為 4.28cm 時，周長為 20.05cm），兩者呈現正比關係。



圖十 螃蟹直向大小與洞口周長之關係圖

(四)、螃蟹直向大小與洞口周長之關係

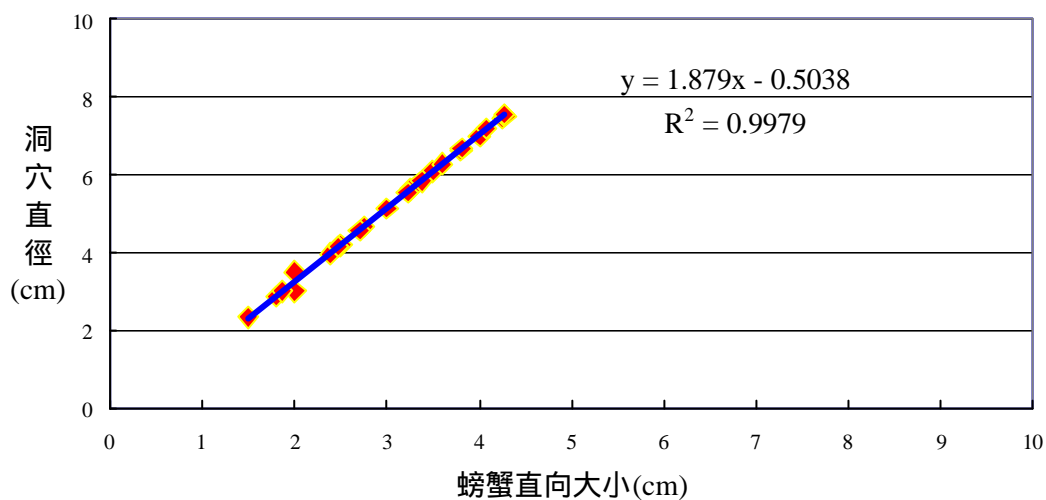
由樣本資料推得公式為 $y = 2.8758x + 2.9968$ 。由圖十一可知，當螃蟹橫向大小越大時，洞口周長也會越大（當螃蟹橫向大小為 2.11cm 時，洞口周長為 9.06cm；大小為 5.9cm 時，周長為 19.92cm），兩者呈現正比關係。



圖十一 螃蟹橫向大小與洞口周長之關係圖

(五)、螃蟹直向大小與洞口直徑之關係

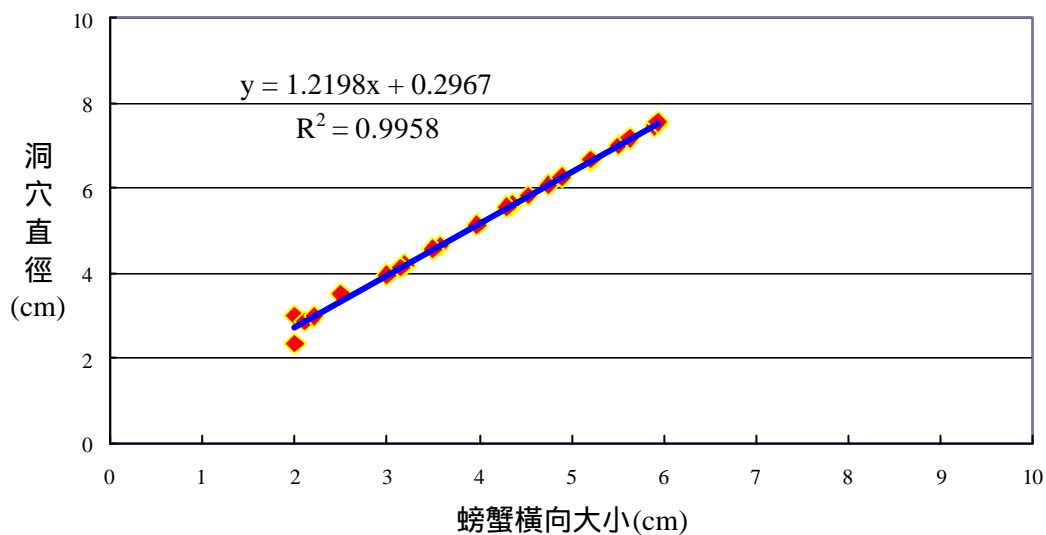
由樣本資料推得公式為 $y = 1.879x - 0.5038$ 。由圖十二可知，當蟹直向大小越大時，洞口直徑也相對越大（當螃蟹直向大小為 1.5cm 時，洞口直徑為 2.33cm；大小為 4.28cm 時，直徑為 7.52cm），兩者成正比關係。



圖十二 螃蟹直向大小與洞口直徑之關係圖

(六)、螃蟹橫向大小與洞口直徑之關係

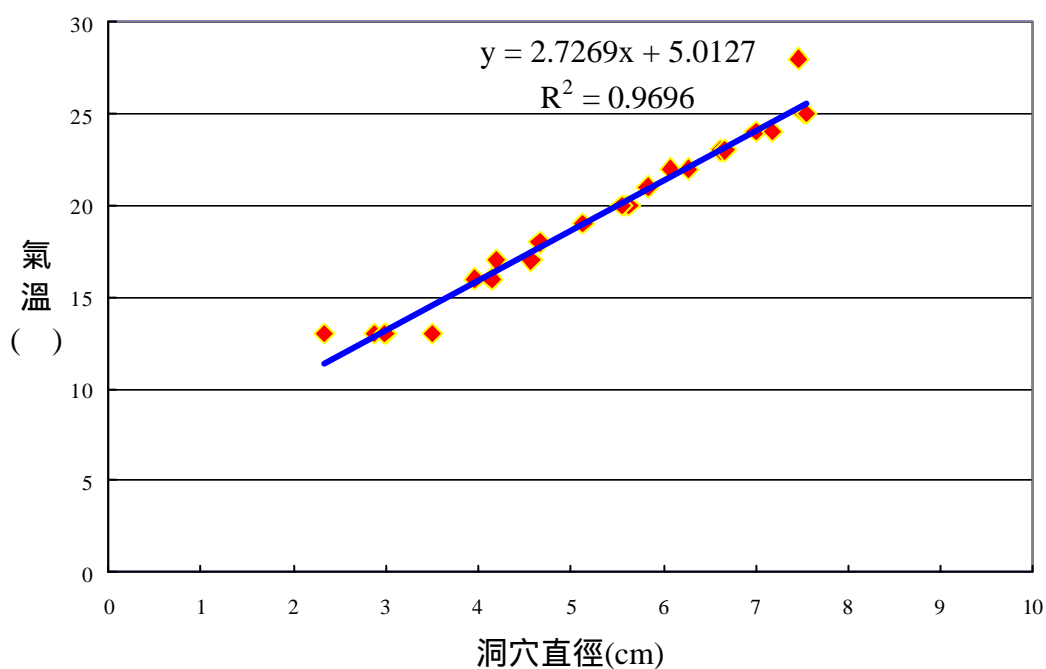
由樣本資料推得公式為 $y = 1.2198x + 0.2967$ 。由圖十三可知，當螃蟹橫向大小越大時，洞口直徑也越大（當螃蟹橫向大小為 2.11cm 時，洞口直徑為 2.87cm；大小為 5.9cm 時，直徑為 7.46cm），兩者成正比關係。



圖十三 螃蟹橫向大小與洞口直徑之關係圖

(七)、洞口直徑與氣溫之關係

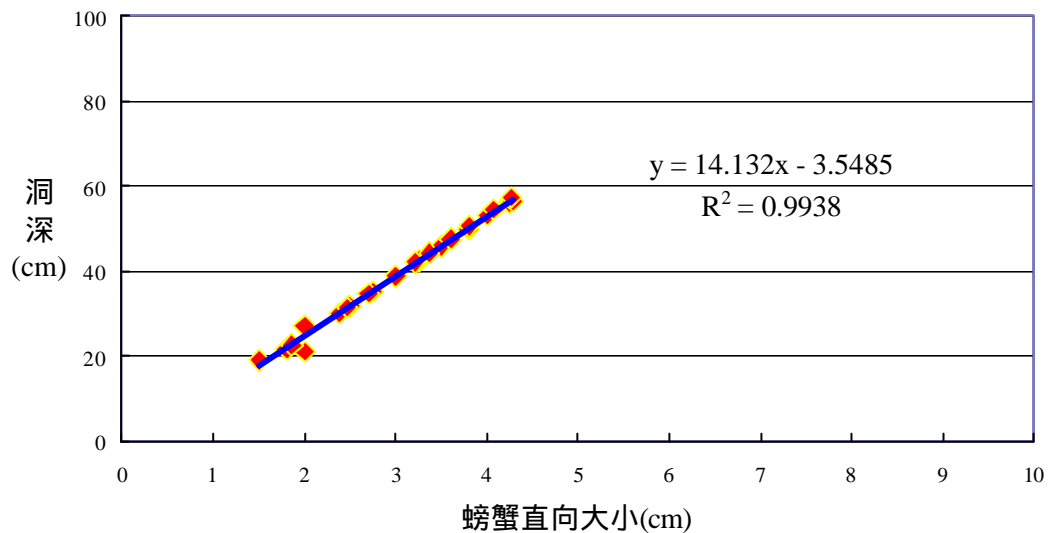
由樣本資料推得公式為 $y = 2.7269x + 5.0127$ 。由圖十四可知，當氣溫越低時（冬季），螃蟹普遍較小；而氣溫較高時（夏季），體型較大。推測可能與採樣時的季節有關，在冬季時，螃蟹正值繁殖季後一段時間，新生的螃蟹體積成長有限，所以體型皆較小，形成的洞口直徑也小；而夏季時螃蟹已長為成蟹，所以造成洞口直徑越大（當氣溫為 18 時，洞口直徑為 4.66cm；氣溫 28 時，直徑為 7.46cm）。



圖十四 洞口直徑與氣溫之關係圖

(八)、螃蟹直向大小與洞穴深度之關係

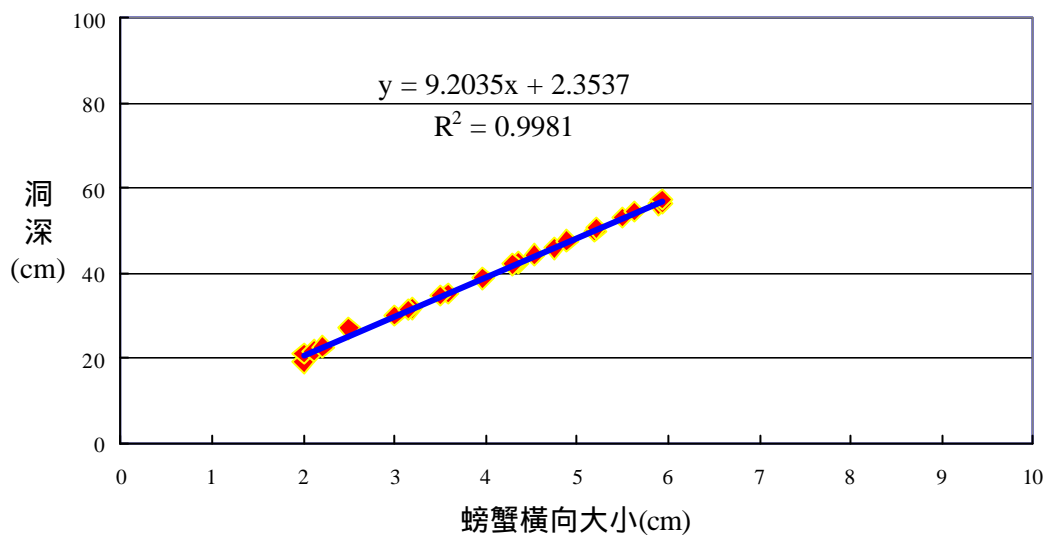
由樣本資料推得公式為 $y = 14.132x - 3.5485$ 。由圖十五可知，當螃蟹直向大小越大時，造成的洞深越大（當螃蟹直向大小為 1.5cm 時，洞穴深度為 19cm；大小為 4.28cm 時，深度為 56.6cm），兩者有正比關係。



圖十五 螃蟹直向大小與洞穴深度之關係圖

(九)、螃蟹橫向大小與洞穴深度之關係

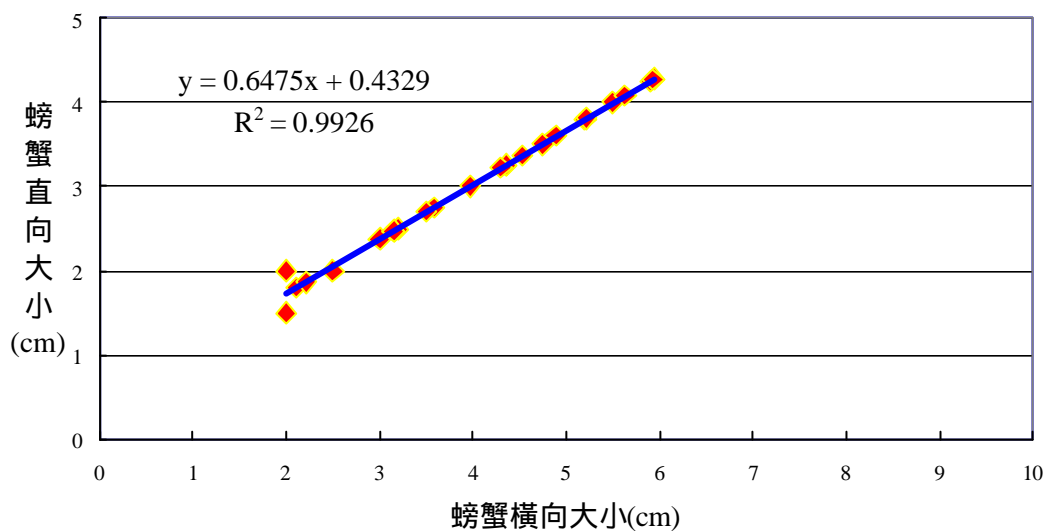
由樣本資料推得公式為 $y = 9.2035x + 2.3537$ 。由圖十六可知，當螃蟹橫向大小越大時，造成的洞穴深度越深（當螃蟹橫向大小為 1.5cm 時，洞穴深度為 2.33cm；大小為 2.11cm 時，深度為 21.73cm），兩者有正比關係。



圖十六 螃蟹橫向大小與洞穴深度之關係圖

(十)、螃蟹橫向大小與螃蟹直向大小之關係

由樣本資料推得公式為 $y = 0.6475x + 0.4329$ ，由圖十七可知。因螃蟹甲殼成矩形，所以當橫向大小越大時，直向大小就會越大，兩者成正比關係；反之亦同（當螃蟹直向大小為 1.5cm 時，橫向大小為 2cm；橫向大小為 5.9cm 時，橫向大小為 4.25cm）。



圖十七 螃蟹橫向大小與螃蟹直向大小之關係圖

七、討論

- (一) 從現生的角眼沙蟹資料中，可發現螃蟹橫向大小與直向大小有一定的關係($y=0.65x+0.43$)；試用他人研究之生痕化石圖片(丁, 1986)，算出甲殼動物大小其橫向與直向大小也大致符合此方程式。因此可知基本推論的螃蟹大小與總長關係可以成立。
- (二) 這十項公式中，深度這一項公式較為不準，因為深度可能因生痕彎曲而沒入岩層中，而無法得知深度，且化石無法實際有物品來量深度，不像用石膏模型做出的物品，比較易計算；經過與指導老師討論後，覺得這為產生數據誤差的原因之一。
- (三) 而利用螃蟹直向、橫向大小和洞穴周長、總長及直徑來比較之關係，可發現同一圖算出的螃蟹大小誤差分別約在正負 0.2 公分之間，故螃蟹大小大致用這六組公式去算是可以的，而誤差值除了上述三種誤差外(由剛才用其他不同東西之比較在正負 0.2 公分之間)，得知量時也常有微量的誤差，所以角眼沙蟹的直向大小可如此算。
- (四) 再者，如果蟹類大小太小時，也不適合用這些算式，因為眾多的誤差值，在螃蟹太小時則此誤差相對來說則變得很大，所以不準確，且蟹類前期很小時只屬於浮游動物，故也能說如果我們算式無誤，則反而可推測此洞應為非蟹類所為，而為其他甲殼類生物造成的。
- (五) 另外算出氣溫後，觀察其值，也大致屬於生物適合活動之範圍，因無法進一步與古時溫度驗證，所以只能說氣溫有影響，且研究之誤差不算很大，則古代當時溫度應為公式所算出的數據。
- (六) 另外到其他沙灘灌模，來驗證這些公式的正確性，發現其他地區的螃蟹與洞的關係都符合這些公式；且無論其他地區的螃蟹是否為角眼沙蟹(如圖十八、十九)，也都符合公式，因此可推斷無論何種沙蟹種皆符合此公式。



圖十八 他類螃蟹(一)



圖十九 他類螃蟹(二)

(七) 從一張洪奕星 (1988) 研究論文中的附錄相片，相片中的生痕化石已判定是由甲殼類動物所造成 (圖二十)，及野柳實地照出來的生痕化石相片五張 (圖二十一 二十五)，應用本研究中分析出的公式來探討其是否可能為螃蟹所造成。其中我們在分析的數據提出幾個較具有代表性的圖片來討論；其中較符合我們公式的如圖二十、圖二十一、圖二十二及圖二十三，而較不符合的如圖二十四與圖二十五，參考表一。由此可推斷圖二十~圖二十三中之生痕化石為螃蟹所造成；圖二十四及圖二十五則可能為其他生物所造成之生痕化石！

表一 生痕化石推算造成生物之大小

	直向大小(cm)	橫向大小(cm)	結 果
圖二十	3.37	4.60	符合 (誤差在正負 0.3 之間)
圖二十一	1.78	1.80	符合 (誤差在正負 0.3 之間)
圖二十二	1.91	1.91	符合 (誤差在正負 0.3 之間)
圖二十三	1.61	1.65	符合 (誤差在正負 0.3 之間)
圖二十四	1.20	1.11	不符合 (橫向大小<直向大小)
圖二十五	2.83	2.92	不符合 (不符合公式)

平均值因誤差過大，且無法準確量出，所以不考慮深度

(八) 由上述的檢驗結果討論後發現：(1) 把 $y=0.6471x + 0.4338$ 和 $x > y$

(因橫向大小 > 直向大小) 聯立, y 需大於 1.2292 ; (2) 因為數據的大小是取平均值, 所以代入螃蟹直向大小去算出橫向大小, 有時並不一定是直接符合比例的 (約在正負 0.3 之間), 也就是數據符合的圖, 即可能為蟹類所造成, 反之則可能不為蟹類造成。

(九) 類似的檢驗可推廣在其他的生痕化石上。不過由於本研究進行時些許的誤差, 以至於利用推得的公式所預測出的結果, 也可能因此有誤差。

(十) 另外, 部份圖片可能為非螃蟹之甲殼類生物所形成的生痕, 其數據代入後可能導致計算有不符合的現象。



圖二十 相片中的生痕化石已判定是由甲殼類動物造成 (洪, 1988)



圖二十一 野柳生痕化石 (一)



圖二十二 野柳生痕化石 (二)



圖二十三 野柳生痕化石 (三)



圖二十四 野柳生痕化石 (四)



圖二十五 野柳生痕化石 (五)

八、結論

由本研究推知不論是螃蟹直向與橫向的大小和洞穴的周長、直徑及洞深均有正比之關係，螃蟹本身直向與橫向的大小也成正比關係，唯螃蟹大小與洞穴總長之關係呈現出不一樣的結果：在螃蟹大到一特定大小時，螃蟹大小才與洞穴總長有正比之關係。

研究中推得螃蟹大小與洞穴之間的各项關係公式，可以作為生痕化石對造成生物間的推論：

- (一) 蟹類大小太小時，不適合用這些公式。
- (二) 算出不符實際的數字時，則可推斷此生痕化石不為螃蟹所造成。
- (三) 可利用圖上或看到之生痕化石的總長及直徑資料來預測螃蟹的直向大小、橫向大小與氣溫。
- (四) 找到一生痕化石，代入公式，可知此地層在古時是否屬於有螃蟹之海濱地帶及古環境溫度，以知此地層是否可能為地殼變動之隆昇地帶！

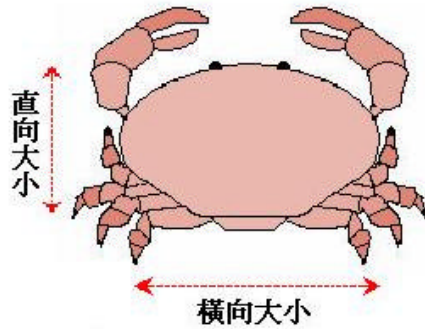
九、參考資料

- (一) 丁信修 (1986), 台灣南部麓山帶小林 - 民族地區晚新第三系之古沉積環境分析, 國立台灣大學
- (二) 何奇勳、吳懷菖、陳慧祺 (1985), 紀錄在岩石中的生物活動—生痕化石, 全國科展二十六屆, 國立科學教育館。
- (三) 李榮祥 (2001), 台灣賞蟹情報, 大樹出版社。
- (四) 洪奕星 (1988), 台灣西北部麓山帶中新統至下部上新統岩相和生痕化石相分析以及沉積環境, 國立台灣大學
- (五) 陳文山 (1994), 台灣的生痕化石, 經濟部中央地質調查所。
- (六) 基礎地球科學 (全一冊), 康熙圖書出版公司。

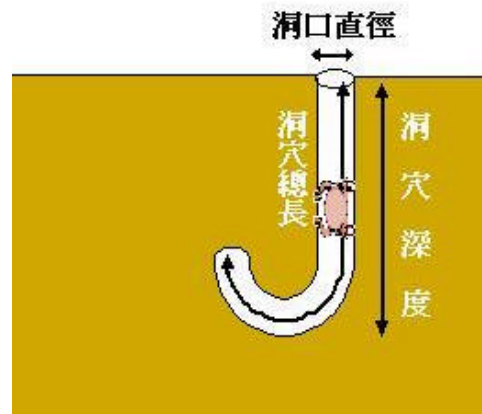
十、附錄

(一)、角眼沙蟹

1. 研究中所定義的螃蟹尺寸



2. 研究中所定義的洞穴大小



3. 角眼沙蟹介紹 (學名：*Ocyropode ceratophthalmus*)：

角眼沙蟹在生物學分類上屬於動物界、節肢動物門、甲殼綱、十足目、沙蟹科，參考下二圖。在外觀的特徵與辨識方式如下：(修改自李，2001)



頭胸甲呈方形，背甲後部有兩個棕褐色斑，眼柄粗短，角膜長圓球形呈白灰色，頂端有一角狀突起，雌蟹或幼蟹角狀突起較短或無，白色螯足左右不等大。

穴居於高潮線的沙灘上，退潮時會成群到潮間帶覓食，攝食沙中有機物及動物死屍也會吃別種螃蟹（如招潮蟹或和尚蟹），常可於他們的洞口發現吃剩的殘骸，一遇危險會衝入海中及躲入沙中，趁著浪花掩護迅速潛入潮水前端的沙中，行動快為陸上最快的無脊椎動物，漁家稱呼為「沙馬仔」。

眼睛相當發達，在沙灘奔跑有明顯的足跡，洞口沙堆成噴射狀。

(二)、模型記錄表格

以下是我們在紀錄時所用的表格：

編號	
項目	
分枝狀況	
日期	
時間	
到達時間	
當日低潮時間	
溫度	
天氣	
螃蟹大小(長)	
螃蟹大小(寬)	
洞口直徑	
洞口周長	
洞穴深度（主幹長）	
螃蟹種類	
螃蟹顏色	
有無模型（編號）	
總長度	
螃蟹性別	
區域	
備註	