

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 地球科學科

最佳(鄉土)教材獎

080504

雙角轉輪蟹的前世與今生

— 玉蟹科化石分類研究

學校名稱：國立臺南大學附設實驗國民小學

作者： 小六 盧牧謙 小六 嚴泓歲 小五 周致廷 小六 謝文廷	指導老師： 王世杰
---	--------------

關鍵詞：雙角轉輪蟹、艾氏飛輪蟹、化石分類

摘要

「雙角轉輪蟹」外殼的兩側轉輪吸引我們投入這次的研究，翻閱專家學者研究報告和瀏覽資料後，僅瞭解雙角轉輪蟹的些許奧秘，仍無法揭開所有的神秘面紗。藉由專家提供標本和帶領實地野外採集化石，觀察印證現生標本及化石外觀構造特徵差異，驚異地發現化石背甲有菱形及橢圓型兩種不同形狀。經查閱網路資料和參觀螃蟹博物館後，發覺還有外觀和其非常相似之「同科異屬」的艾氏飛輪蟹背甲兩側也有轉輪，但在化石的外觀上卻不容易區別。本研究利用背甲殼寬與殼長的比值分別雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹，正確率達 89%；另外，若採用分群判別的改進方法，正確率更提高為 96%。期待這兩個分類方法，可以有效協助對於這二種螃蟹化石有興趣的人做出快速且正確的判別。

壹、研究動機

去年七月我們去台南左鎮菜寮化石館參觀化石時，看到一種叫「雙角轉輪蟹」的螃蟹，它們外殼的兩側分別長有轉輪，而且解說人員告訴我們轉輪會隨著爬動而旋轉，我們覺得這真是奇妙的事啊！居然在地球上有一種節肢動物的身體有著像馬達一樣的構造，因此，我們便想一探雙角轉輪蟹的奧妙，揭開它神秘的面紗！同時我們也想了解在若干年前它們是長得如何？和現在有無不同呢？若有不同，不同的地方在哪？那又是什麼因素造成這些改變呢？

貳、研究目的

透過這次研究，首先我們想探究雙角轉輪蟹過去與現在的生活習性和生活環境等基本資料。藉由參觀博物館、拜訪化石專家和實地野外採集化石，獲得實際印證。然後經由觀察現生標本及化石外觀構造，進而比較化石與現生標本的體型與性別的差異性，以瞭解古代雙角轉輪蟹與現今的演化差異。在觀察化石標本時，我們意外發現有兩種不同形狀的雙角轉輪蟹，經過查閱網路資料和參觀螃蟹博物館後，確認另一種艾氏飛輪蟹背甲兩側也有轉輪，外觀非常相似，同屬於玉蟹科的動物，但被分類於兩個不同屬。因此本研究嘗試提出兩個簡單可行的分類方法，期待能有效協助對於這二種螃蟹有興趣的人快速判別。

參、研究問題

- 一、雙角轉輪蟹現生種分布地點
- 二、雙角轉輪蟹化石出土地點與出土地層
- 三、雙角轉輪蟹化石實地探訪與採集
- 四、雙角轉輪蟹化石外觀構造觀察與尺寸測量
- 五、雙角轉輪蟹化石與現生標本差異比較

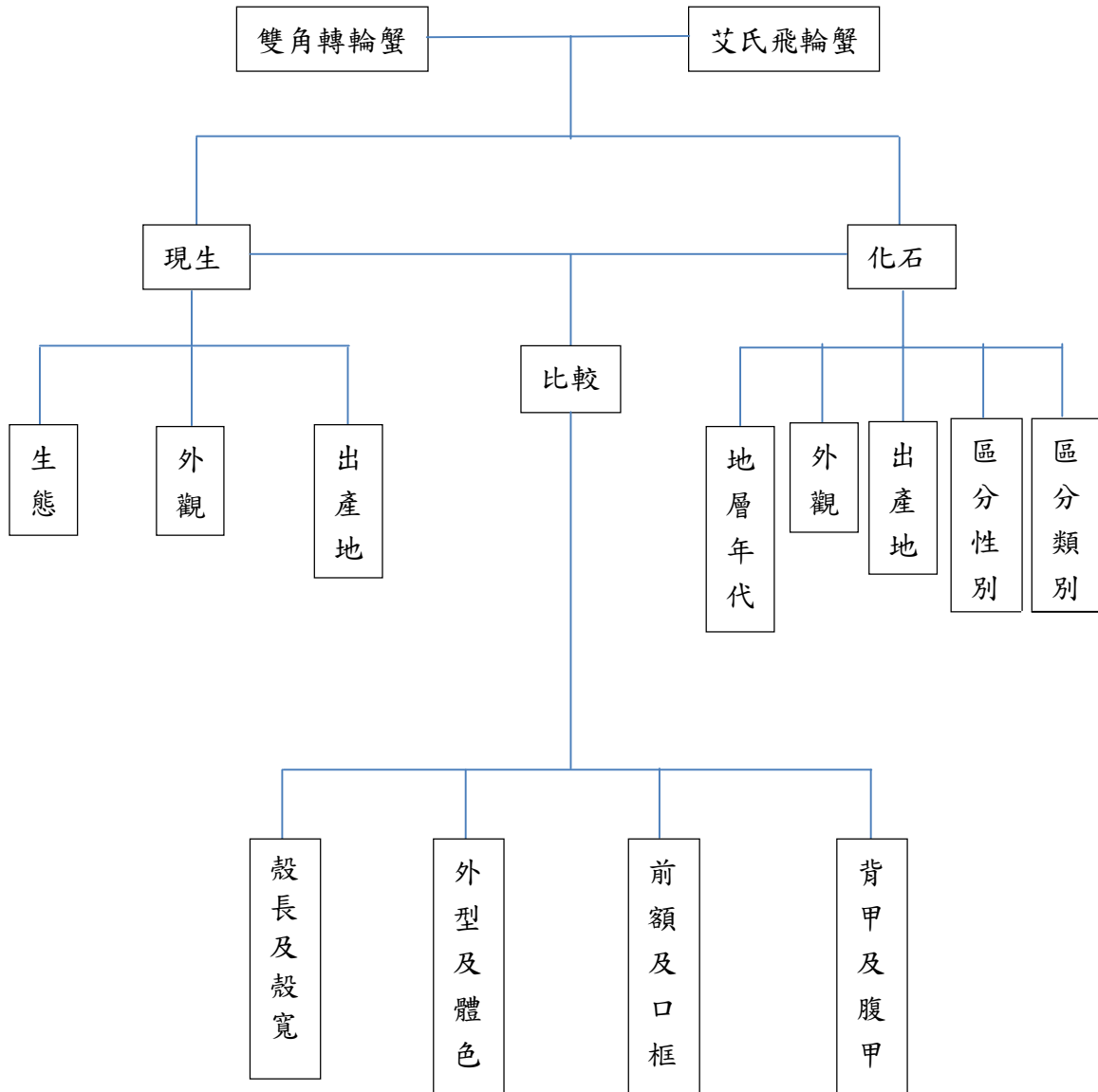
- 六、雙角轉輪蟹性別判別
- 七、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹判別
- 八、雙角轉輪蟹的轉輪功能探討

肆、研究設備及器材

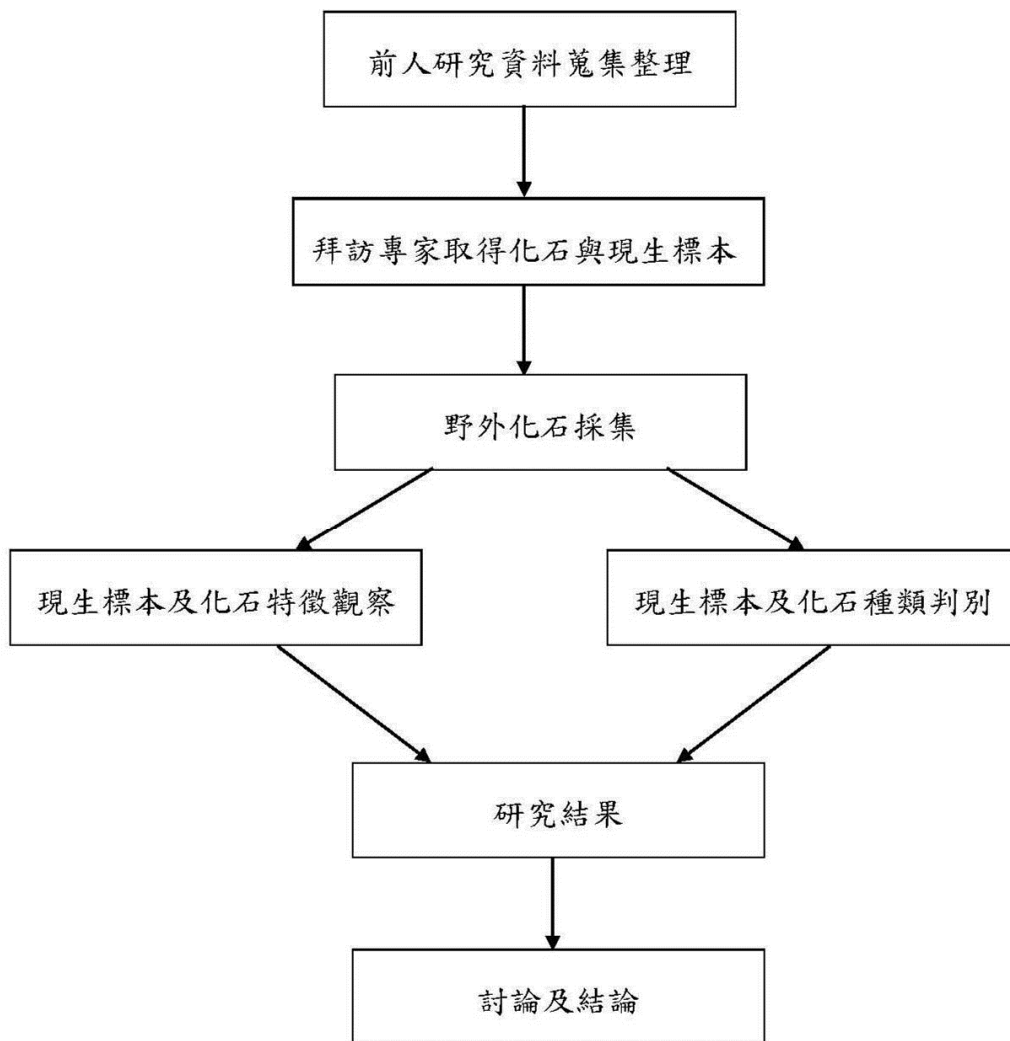
設備		化石採集器材	
電腦		手鎚	
數位相機		尖鑿子	
數位游標卡尺		採集盒	
雙角轉輪蟹化石		鏟子	
雙角轉輪蟹現生標本		快乾	
艾氏飛輪蟹化石		刷子	
艾氏飛輪蟹現生標本		手套	

伍、研究構想與方法

一、研究構想圖



二、研究方法流程圖



三、雙角轉輪蟹基本資料收集

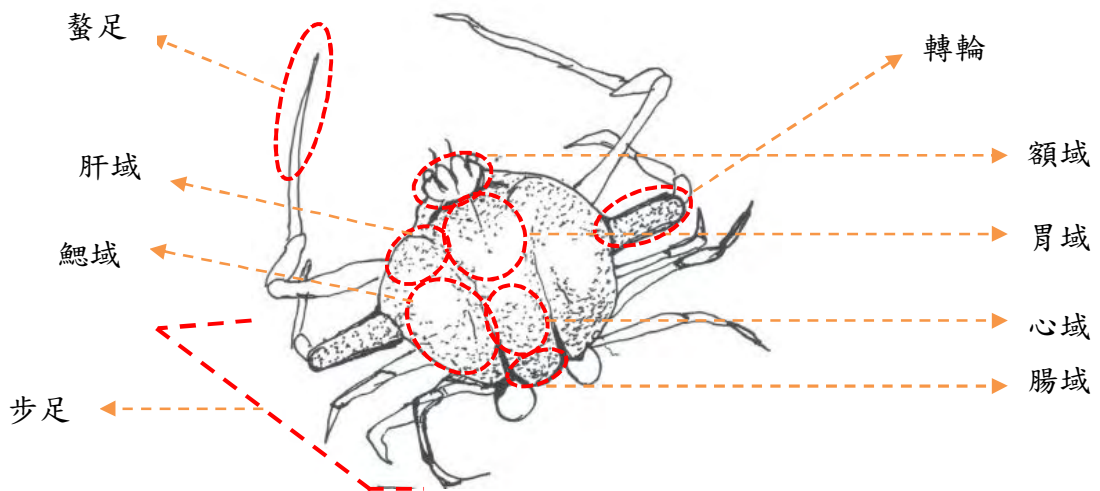
(一) 雙角轉輪蟹的特徵介紹

1. 外觀特徵：

- (1) 屬於節肢動物門甲殼綱十足目玉蟹科，十足目動物顧名思義有十隻腳，包括一對螯足，主要用來捕食、抗敵和吸引異性；其餘八隻腳稱為步足，用來行走或游泳。

- (2) 身體分為頭胸部 (背甲)、腹部 (腹甲)及附屬肢。背甲成菱形，包含額域、胃域、心域、腸域、肝域和鰓域等部份 (參考圖一化石專家手繪插圖)。
- (3) 腸域末端有一顆突起圓粒，尾部左右兩側各有一顆突出圓球，。
- (4) 胃域有突出的顆粒。
- (5) 前額 (額域)在眼窩處有突出鈍齒。
- (6) 最大特色為在背甲兩側 (鰓域)各有一根突出錐狀物。

2. 生活習性：雙角轉輪蟹 (學名：*Ixoides cornutus*) 為玉蟹科轉輪蟹屬的動物。分布於日本、波斯灣、台灣島以及中國大陸的廣東、海南等地，生活環境為海水，常棲息於水深 50-200 米的沙質或泥沙質海底。

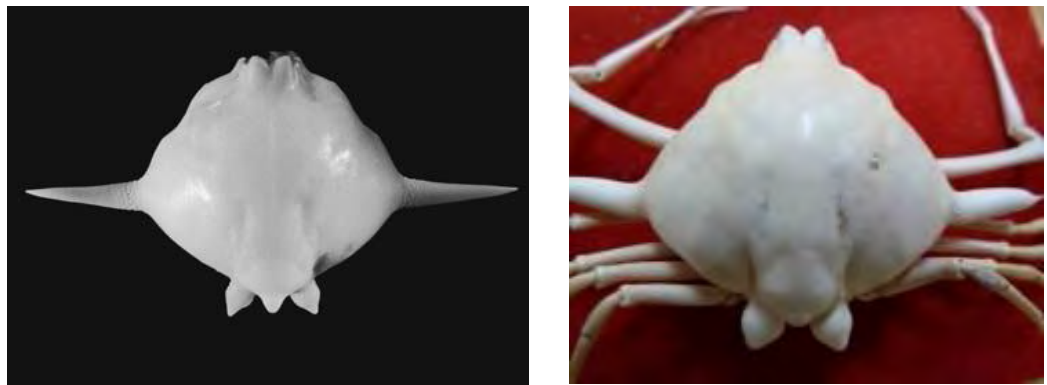


圖一、轉輪蟹的背甲型態和細部區域說明 (插圖由化石專家提供)

(二) 雙角轉輪蟹現生標本照片初步觀察

網路收集轉輪蟹現生標本照片，並向專家借用實際現生標本，進行外觀構造的初步觀察與瞭解。

1. 外觀及體色



圖二、現生轉輪蟹的外觀及體色 (左圖標本為原型標本 (holotype)，右圖標本體色已褪色)(左圖片來源：MacGilchrist, 1905，右圖片來源：專家借用標本，自行拍攝)

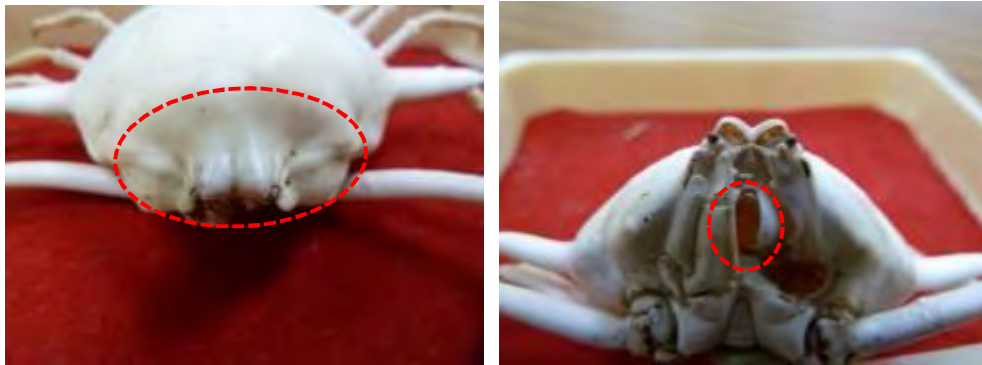
2. 背甲與腹甲



圖三、雄性轉輪蟹背甲與腹甲

(圖片來源：<http://www.geocities.jp/crabclub2004/kani-zukan/Leucosiidae/cornutus.html>)

3. 前額與口框



圖四、轉輪蟹現生標本的前額與口框 (圖片來源：專家借用標本，自行拍攝)

(三) 雙角轉輪蟹現生種發現地點

- 採集地：屏東縣東港、楓港
- 採集方法：拖網
- 採集深度：80 公尺
- 採集經度：22.47
- 採集緯度：120.43
- 資料來源：國立海洋生物博物館
- 參考網址：

<http://catalog.digitalarchives.tw/item/00/03/34/6c.html>



(四) 雙角轉輪蟹化石出土地點與出土地層

- 出土地點：嘉義縣番路鄉牛埔仔八掌溪河床。
- 出土地層：屬於第四紀更新世六重溪層地層。
- 地層岩性：六重溪層為砂質頁岩及泥質砂岩。
- 地層特徵：以泥岩及泥質砂岩為主，中層砂岩和粉沙岩，沙泥互層呈現濁流沉積特徵，屬淺海環境。
- 出土年代：距今大約 258 萬年~533 萬年前。
- 資料來源：台灣甲殼動物化石誌 (胡忠恆、陶錫珍，民 85)
嘉義地區化石圖鑑 (嘉義市政府文化局，民 93)













註：★ 為採集地點

四、現生標本與化石標本收集

(一) 向化石專家及標本收藏家借用

拜訪國內化石收集專家，借用 2 隻雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹現生標本及 44 隻化石標本；另外向兩位國內知名的現生標本收藏家借用 6 隻雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹標本，再加上澎湖竹灣螃蟹博物館借用 2 隻現生標本，對它們進行編號後(如表一(a)和(b))。

表一、(a)現生標本編號與照片

現生標本 1	現生標本 2	現生標本 3	現生標本 4	現生標本 5
				
現生標本 6	現生標本 7	現生標本 8	現生標本 9	現生標本 10
				

表一、(b)化石標本編號與照片

化石 1	化石 2	化石 3	化石 4	化石 5	化石 6
					
化石 7	化石 8	化石 9	化石 10	化石 11	化石 12
					
化石 13	化石 14	化石 15	化石 16	化石 17	化石 18
					
化石 19	化石 20	化石 21	化石 22	化石 23	化石 24
					
化石 25	化石 26	化石 27	化石 28	化石 29	化石 30
					
化石 31	化石 32	化石 33	化石 34	化石 35	化石 36
					
化石 37	化石 38	化石 39	化石 40	化石 41	化石 42
					
化石 43	化石 44				
					

(二) 實地探訪與採集化石

民國 101 年 2 月 26 日跟隨國內專業化石收集專家前往嘉義縣番路鄉牛埔仔八掌溪河床實地探訪與採集化石標本。

首先對於當地的岩層與地理環境拍照記錄，八掌溪河床屬於細粒粉砂岩層，化石很容易在大雨後被露出，化石採集難度不高，但容易破碎，採集時必須很謹慎，對於破碎的化石可用快乾黏合補強。

1. 本次採集獲得 1 隻化石，編號為化石 45 (如表二)。
2. 採集地附近周遭的環境也同時採到其他種類化石，數量以貝殼化石最多，其次為螃蟹化石碎片，以及鯊魚牙齒化石。







表二、嘉義番路鄉牛埔仔八掌溪河床實地採集化石

嘉義番路鄉牛埔仔八掌溪河床岩層	實地採集化石	測量採集到的化石 45，背甲殼寬約 34mm、殼長約 25mm
		

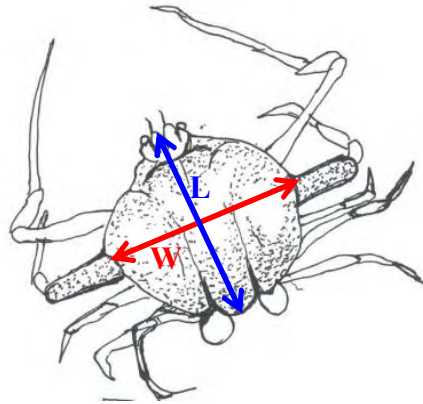
五、化石外觀構造觀察與尺寸測量

- (一) 進行 45 隻化石標本 (含 44 隻化石專家借用及 1 隻野外採集) 的外觀構造觀察，包括前額、口框、背甲、腹甲、尾部及轉輪，並和 2 隻現生標本進行外觀差異比較 (如表三)。

表三、現生標本與化石標本的背甲與腹甲觀察



現生標本 1 (背甲)	現生標本 2 (背甲)	現生標本 1 (腹甲)
		
化石標本 11 (背甲)	化石標本 1 (背甲)	化石標本 11 (腹甲)
		

- (二) 使用數位游標卡尺測量雙角轉輪蟹背甲殼寬 (W)及殼長 (L) (圖五)，以避免誤差，表四展示一個化石標本尺寸測量範例，殼寬為 34.14mm (公厘)及殼長為 29.36mm。



圖五、雙角轉輪蟹背甲殼寬 (W)及殼長 (L)尺寸測量位置示意圖

表四、化石背甲殼寬 (W)及殼長 (L)尺寸測量

測量殼寬 (W)	測量殼長 (L)
	

六、雙角轉輪蟹性別判別分析

參考一般螃蟹性別判別方法，腹部三角形為雄性，腹部橢圓形為雌性。

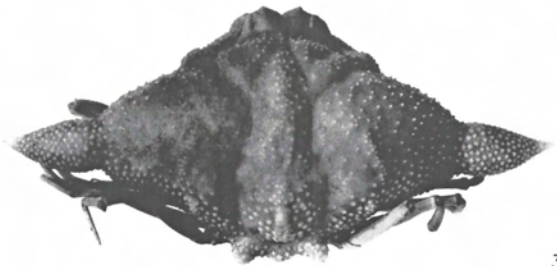
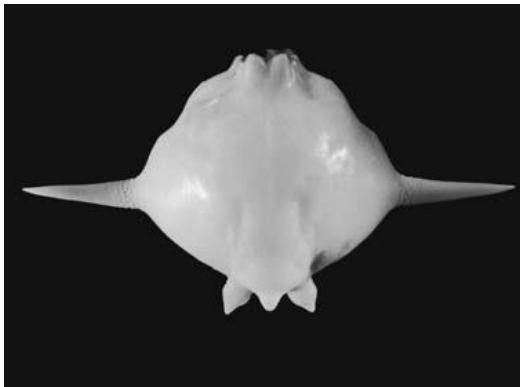
七、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹判別

- (一) 在觀察化石標本時，發現背甲有菱形與橢圓形兩種不同形狀，查閱網路資料後，得知艾氏飛輪蟹與雙角轉輪蟹外觀非常相似，這兩種螃蟹背甲兩側都有錐狀轉輪，雖然都是玉蟹科的動物，但卻被分類於兩個不同屬 (圖六)。
- (二) 蒐集前人著作和網路資料，有關雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的中文資料很少，僅有維基百科兩筆資料記載這兩種螃蟹的生活環境以及分布地點，可惜並未詳細說明它們的食性、繁殖等生活習性的差異處或如何判別。
- (三) 我們接著利用雙角轉輪蟹及艾氏飛輪蟹的學名查閱網路資料，找到了兩篇介紹兩種螃蟹的原型標本照片 (圖六) 及資料，於是我們翻譯了這兩篇文章。
 1. 雙角轉輪蟹 (學名：*Ixoides cornutus*) 為玉蟹科轉輪蟹屬的動物。分布於日本、波斯灣、台灣島以及中國大陸的廣東、海南等地，生活環境為海水，常棲息於水深 50-200 米的沙質或泥沙質海底。外觀特徵說明如下：

- 腸域末端有一顆突起圓粒，尾部左右兩側各有一顆突出圓球。
- 胃域有突出的顆粒。
- 前額 (額域)在眼窩處有突出鈍齒。
- 最大特色為在背甲兩側 (鰓域)各有一根突出錐狀物。

2. 艾氏飛輪蟹 (學名：*Ixa edwardsii*) 為玉蟹科飛輪蟹屬的動物。分布於澳大利亞北部、印度、土耳其東南的梅爾辛灣、紅海、波斯灣、東非以及中國大陸的海南、廣西等地，生活環境為海水，一般棲息於淺海區以及有時進入河口處。外觀特徵說明如下：

- 甲殼額域表面有兩道溝槽。
- 甲殼側面有圓柱形的轉輪，轉輪尖而短，輪上有顆粒。
- 尾部 (額域)上有明顯的顆粒。



3

圖六、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的外觀比較，左圖雙角轉輪蟹背甲呈菱形)，右圖艾氏飛輪蟹背甲呈橢圓形 (左圖來源：MacGilchrist, 1905 原型標本照片)、右圖來源：Lucas, H. 1846. 原型標本照片)

(四) 為了瞭解雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的差異處，向兩位國內知名的現生標本收藏家借用 6 隻雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹現生標本觀察 (表一)。另外也特地參觀澎湖竹灣螃蟹博物館，內有展示雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹現生標本 (表五)。

表五、澎湖竹灣螃蟹博物館展示現生標本

博物館外觀	雙角轉輪蟹現生標本	艾氏飛輪蟹現生標本
		



- (五) 根據圖六、表一及表五的現生標本比較，確認雙角轉輪蟹背甲呈菱形，而艾氏飛輪蟹背甲呈橢圓形。
- (六) 一般現生螃蟹可從花紋、形狀和顏色來辨認種類，但化石標本顏色已失真，有些軀體破裂或覆土過多，無法辨別。我們仿效化石專家用目測法鑑定，並先過濾掉軀體不完整的螃蟹化石，以避免判斷失真。
- (七) 在觀察現生標本時，注意到兩隻背甲形狀不一樣，現生標本 1、8、9、10 (參考表一圖片)的背甲形狀近似菱形，如圖六左圖為雙角轉輪蟹；同理觀察現生標本 2、3、4、5、6、7 (參考表一)背甲呈橢圓形，如圖六右圖為艾氏飛輪蟹。
- (八) 經過組員討論後，提出一個自動方法判別這兩種螃蟹化石，利用背甲殼寬與殼長的比值來判別。比值計算如下說明：
- 【例 1】 現生標本 1 (參考表一)經測量背甲殼寬為 39.51mm、殼長為 36.17mm，背甲殼寬與殼長比值 $(39.51/36.17)$ 大約為 1.09。
- 【例 2】 現生標本 2 (參考表一)經測量背甲殼寬為 39.80mm、殼長為 26.65mm，背甲殼寬與殼長比值 $(39.80/26.65)$ 大約為 1.49。
- (九) 根據現生標本 1、8、9、10 及現生標本 2、3、4、5、6、7 的背甲殼寬長比值平均值計算結果，我們估計雙角轉輪蟹背甲殼寬長比值大約為 1.15，艾氏飛輪蟹約為 1.51，討論後，決定取這兩個比值的中間數 $(1.15+1.51)/2 = 1.33$ 作判別值，背甲殼寬長比值小於 1.33 自動判別為雙角轉輪蟹，大於等於 1.33 自動判別為艾氏飛輪蟹。
- (十) 為了提升分類判別效果，我們提出另一個分群的改進方法，利用分群後殼寬、殼長和殼寬長比值三個不同條件來判別，詳細說明請看第 19 頁。

陸、研究結果與討論

一、化石外觀構造觀察與尺寸測量

- (一) 由國內知名專家提供化石標本 44 隻，嘉義番路鄉牛埔仔八掌溪河床實地採集 1 隻，共 45 隻，另外有現生標本 2 隻、以及兩位現生標本收藏家借用測量了 6 隻，再加上澎湖竹灣螃蟹博物館測量 2 隻，這 55 隻標本是本研究的主要觀察與測量對象。
- (二) 首先進行化石外觀構造基本觀察，包括背甲、腹甲、前額，尾部與轉輪的初步觀察；另外進行殼寬及殼長的尺寸測量 (部分如表六)。

表六、化石外觀測量與觀察記錄表 (W, L 單位：mm)

編號	殼寬 (W)	殼長 (L)	照片	外觀特徵
1	31.80	24.65		完整左右側轉輪 完整背甲 背甲上有顆粒
12	33.43	31.67		有右側轉輪
45	34.02	25.40		嘉義番路牛埔仔 八掌溪實地採集 有完整背甲 有轉輪斷裂痕跡

(三) 根據觀察記錄分析，歸納出化石有如下列狀況：

1. 背甲少數覆土太厚或破裂不完整
2. 腹甲多數覆土太厚不易觀察
3. 少數有轉輪
4. 尾部幾乎都沒有球狀突出物
5. 所有步足及螯足都斷裂
6. 腹甲覆土太厚造成殼高測量數據失真

(四) 根據 45 隻化石標本的觀測，發現多數背甲呈菱形，少數背甲呈橢圓形，另有一些背甲覆土太厚或破裂不完整不易判別。針對這個現象討論之後，上網查詢，得知艾氏飛輪蟹與雙角轉輪蟹外觀非常相似，這兩種螃蟹背甲兩側都有轉輪，都是玉蟹科動物，但分類成兩個屬（參考圖六）。將在後面研究結果說明我們提出的判別方法和判別結果（請參考表十三及表十四）。

二、化石與現生標本差異比較

(一) 外觀構造觀察與比較

針對化石進行外觀構造觀察比較，包括前額、口框、胃域、尾部、腹甲、轉輪、步足及螯足等特徵。根據表七的比較記錄來分析，所有化石的眼睛和口框無法辨識，步足和螯足斷裂，背甲多數完整，腹甲多數覆土太厚不易觀察。

表七、現生標本及化石外觀型態觀察記錄表

外觀構造	現生標本 (總數 10 隻)	化石標本 (總數 45 隻)
前額	前額具有一對眼睛，下方有一個口器，外側有兩片薄殼可蓋住口器。	無法辨識
口框	有細毛以及一些顆粒	無法辨識
胃域	有細小而密集突出的小顆粒，每一平方公厘大約有三至五顆。	僅有 1 隻有突出的小顆粒
尾部	具有一對球狀突出物，形狀像小孩的乳牙。	大部分尾部突出物斷裂，僅有 2 隻有一對細小球狀突出物。
腹甲	腹部抱卵肢明顯，容易觀察。	大部分覆土過多，不易觀察，少數可觀察到抱卵肢。
轉輪	兩側有突起的錐狀轉輪	僅有 1 隻有兩側轉輪，2 隻有左側轉輪，1 隻有右側轉輪。
步足	四對	無
螯足	一對	無

(二) 轉輪長度分析

少數幾隻化石標本仍保有完整雙側轉輪或僅有單側轉輪，轉輪外觀和現生標本一模一樣，甚至轉輪外表上的顆粒仍清晰可見 (請參考表八)。另外進行轉輪長度測量分析 (表九)，現生標本的左轉輪長度 (12.35mm) 較化石標本平均值 (10.44mm) 大，右轉輪長度 (11.35mm) 較化石標本平均值 (11.65mm) 小。猜測左右轉輪長度大小不一致可能是因為化石轉輪斷裂經過修補黏合，造成數據差異。

表八、具有轉輪的現生標本及化石照片參考

現生標本 1	現生標本 2	化石(12)
		
化石(7)	化石(1)	化石(17)
		

表九、轉輪長度分析 (單位：mm)

編號	左轉輪長	左轉輪直徑	右轉輪長	右轉輪直徑
現生標本 1	12.35	4.04	11.35	4.13
化石(1)	11.34	5.37	12.87	5.60
化石(7)	6.13	3.85	無	無
化石(12)	無	無	10.72	4.00
化石(17)	11.92	5.08	無	無
化石平均值	10.44	4.69	11.65	4.58

三、雙角轉輪蟹化石性別判別

(一) 過濾軀體不完整化石

1. 背甲多數完整，部分背甲或腹甲破裂，覆土過多，影響背甲殼寬、殼長及殼高的測量和後續分析，甚至有 2 隻懷疑屬於其他玉蟹科螃蟹 (根據形狀推測)，因此預先從 45 隻過濾掉 17 隻 (參考表十)，剩下 28 隻軀體較完整。
2. 仔細觀察和過濾軀體不完整雙角轉輪蟹，發現轉輪蟹背甲似乎有 19 隻為菱形和 9 隻為橢圓形，所以先根據背甲形狀初步將他們分成兩群，猜測菱形背甲為雙角轉輪蟹，橢圓形背甲為艾氏飛輪蟹，我們將在後面的研究結果詳細說明如何利用背甲殼寬與殼長來區分兩種螃蟹 (參考表十三至表十五)。

表十、軀體不完整的原因分析

編號	原因	編號	原因
化石(2)	前額不完整	化石(27)	軀體不完整
化石(3)	前額不完整，無尾部突出物	化石(28)	前額左方不完整
化石(4)	軀體不完整	化石(33)	其他玉蟹科
化石(6)	右側軀體不完整	化石(34)	前額及尾部不完整
化石(7)	尾部不完整	化石(37)	左側軀體不完整
化石(8)	軀體覆土過多無法量測	化石(38)	前額不完整
化石(9)	軀體覆土過多無法量測	化石(39)	其他玉蟹科
化石(10)	左方前額不完整	化石(40)	前額不完整
化石(19)	前額及尾部不完整		






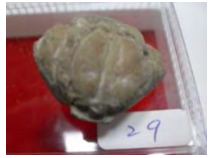



(二) 性別判別

根據一般螃蟹性別判別方法，腹部呈現三角形為雄性，橢圓形為雌性。但是我們在雙角轉輪蟹化石性別判別分析時，遭遇棘手的難題挑戰，原因如下說明：




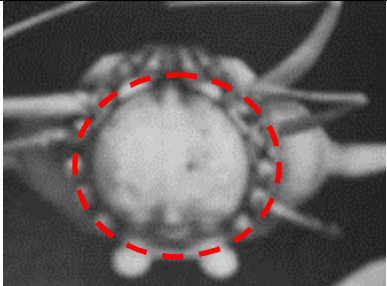
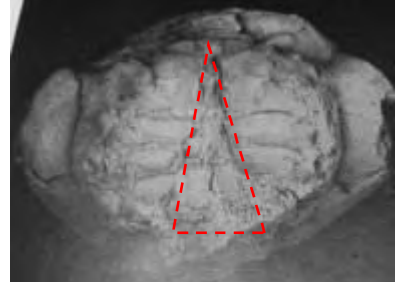
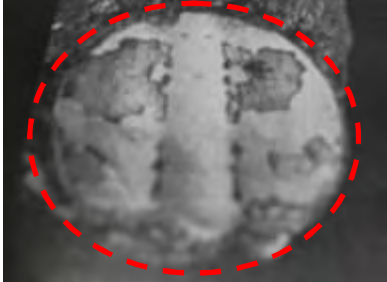
2. 大部分化石腹甲覆土過多，不易辨識腹部抱卵肢，只有 8 隻抱卵肢較為清楚，初估 5 隻雄性，3 隻雌性 (參考表十一)。
3. 專家提供的現生標本只有一隻雄性雙角轉輪蟹，並沒有雌性的雙角轉輪蟹可供比較參考。
4. 查閱前人著作有關雙角轉輪蟹性別的圖片 (參考表十二)，可惜只有少數幾張可供參考。

另外，有化石專家建議利用轉輪粗細分辨性別：較粗短的為雌性雙角轉輪蟹、較細長的為雄性雙角轉輪蟹；經過化石實際觀察後，雖然有 4 隻化石標本含有轉輪，但是缺乏現生標本 (僅有 1 隻)可供對照參考，而且前人著作並無記載這項判別方法，因此對於利用轉輪來判斷性別的方式還有疑慮，暫時無法以轉輪判斷性別

表十一、性別判別

編號	原因	性別判別	參考照片
現生標本 1	腹部抱卵肢呈三角形	估為雄性	
化石(11)	腹部抱卵肢呈三角形	估為雄性	
化石(21)	腹部抱卵肢呈三角形	估為雄性	
化石(23)	腹部抱卵肢呈三角形	估為雄性	
化石(26)	腹部抱卵肢呈三角形	估為雄性	
化石(29)	腹部抱卵肢呈圓形	估為雌性	
化石(30)	腹部抱卵肢呈三角形	估為雄性	
化石(35)	腹部抱卵肢呈圓形	估為雌性	
化石(44)	腹部抱卵肢呈圓形	估為雌性	

表十二、雙角轉輪蟹與其他種螃蟹性別參考圖

一般螃蟹 (雄性)	一般螃蟹 (雌性)
	
雙角轉輪蟹現生標本腹甲 (雄性)	雙角轉輪蟹現生標本腹甲 (雌性)
	
雙角轉輪蟹化石腹甲 (雄性)	雙角轉輪蟹化石腹甲 (雌性)
	

四、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的判別

- (一) 根據澎湖竹灣螃蟹博物館拍攝照片和網路的現生標本圖片比較 (表五和圖六)，我們確認雙角轉輪蟹背甲呈菱形，而艾氏飛輪蟹背甲呈橢圓形，這是轉輪蟹屬與飛輪蟹屬兩類螃蟹的主要差異處。
- (二) 觀察現生標本 1 的背甲形狀近似菱形 (參考表三)，因此判定為雙角轉輪蟹；同理可判定現生標本 2 背甲呈橢圓形為艾氏飛輪蟹。
- (三) 針對 45 隻化石標本，為避免影響判別結果，預先過濾 17 隻軀體不完整化石 (參考表十)，剩下 28 隻軀體較完整作為檢測對象，首先以人工目測，組員彼此討論來共同鑑定，根據背甲形狀初步分成兩群，菱形背甲有 19 隻，判別為雙角轉輪蟹群，另一群 9 隻橢圓形背甲判別為艾氏飛輪蟹群。
- (四) 根據我們提出的自動判別方法 (參考第 12 頁)，利用雙角轉輪蟹背甲殼寬長比值 (大約為 1.15) 和艾氏飛輪蟹背甲殼寬長比值 (約為 1.51) 的中間數 $(1.15+1.51)/2 = 1.33$ 當作判別值，背甲殼寬長比值大於等於 1.33 屬於艾氏飛輪蟹，背甲殼寬長比值小於 1.33 屬於雙角轉輪蟹。表十三及表十四詳細列出人工目測背甲形狀

鑑定的轉輪蟹群與飛輪蟹群的背甲殼寬長比值，有關判別結果的正確率計算和判別錯誤分析如下說明：

1. 19 隻雙角轉輪蟹群的背甲殼寬長比值都小於 1.33，全部符合預測，正確率 100%。比值最大為 1.21 (化石編號 16)，比值最小為 0.96 (化石編號 25)。
2. 9 隻艾氏飛輪蟹群的背甲殼寬長比值最大為 1.54 (化石編號 22)，比值最小為 1.21 (化石編號 17)。比值大於等於 1.33 的有 6 隻，自動判別正確；但是化石編號 1、17、43 這三隻比值小於 1.33，當作判別錯誤，因此正確率為 $6/9 = 67\%$ 。
3. 若是以 28 隻軀體較完整作為自動判別測試對象，只有化石編號 1、17、43 這三隻判別錯誤，自動判別正確的有 25 隻，因此正確率為 $25/28 = 89\%$ 。
4. 為瞭解錯誤判別原因，重新觀察這三隻化石，根據目測大家一致同意背甲屬於橢圓形的艾氏飛輪蟹，然後我們重新測量背甲殼寬及殼長，發現編號 17 化石殼寬及殼長的原先數據有錯誤，新的測量結果殼寬為 33.85，殼長為 24.01，殼寬長比值為 1.41。根據新的殼寬長比值大於 1.33，編號 17 化石應該是艾氏飛輪蟹，這次的判別錯誤應該屬於人為量測錯誤。

(五) 為了提升分類判別效果，我們提出一個新的改進方法。首先請教一位化石專家，他提醒我們節肢動物成長過程有多次脫殼現象，而且殼的大小分布必成束狀。根據這個建議，我們將殼寬和殼長大小相近的分成一群，畫出雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹成長分群圖 (圖七)，19 隻雙角轉輪蟹大致上可分成五群 (推測可能至少脫殼四次)，9 隻艾氏飛輪蟹大致上可分成兩群，這七群的成員以及分群後的殼寬長比值平均值如表十五說明。利用分群後殼寬、殼長和殼寬長比值三個不同條件，我們可以將化石編號 1 和 43 這兩隻正確分類到飛輪群 1，三隻判別錯誤即可降為一隻 (編號 17 化石)，判別正確的有 27 隻，因此正確率為 $27/28 = 96\%$ 。而且前面已經討論說明編號 17 化石這隻判別錯誤，其實是人為量測錯誤。所以我們提出新的改進方法非常有效。

(六) 有化石專家建議可以利用背甲上的突起顆粒或轉輪形狀來區分兩種螃蟹：

1. 有突起顆粒為艾氏飛輪蟹，光滑無顆粒為雙角轉輪蟹。
 2. 轉輪較長、較鈍的為雙角轉輪蟹；較短、較尖的為艾氏飛輪蟹。
- 但很可惜，大部分化石均無突起顆粒或轉輪，僅有 1 隻突起顆粒，4 隻有轉輪；因為數量太少，無法產生統計的有效性，所以我們暫時不採用這兩種建議。

表十三、雙角轉輪蟹群的背甲殼寬長比值記錄 (W, L 單位：mm)

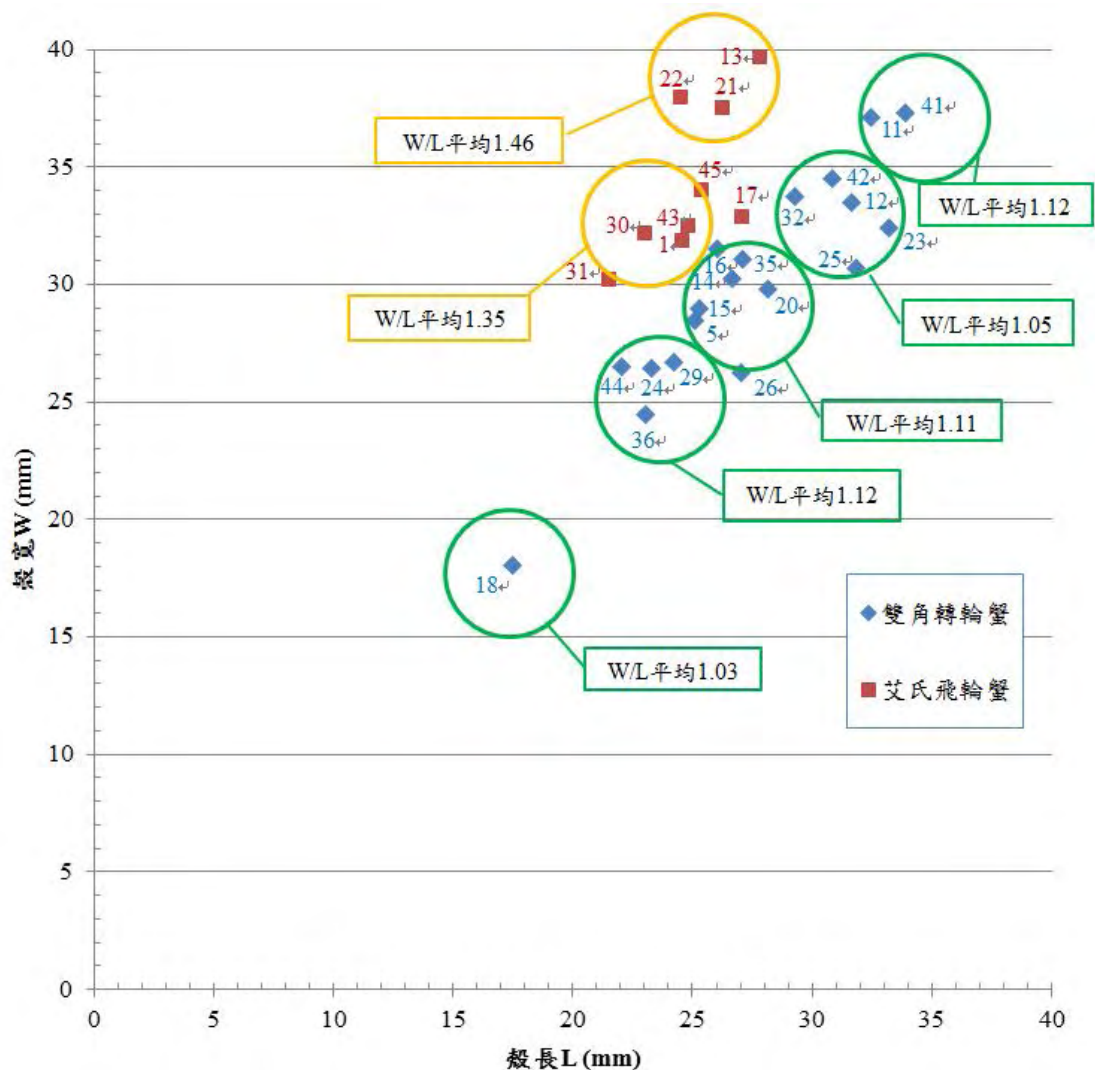
編號	殼寬 (W)	殼長 (L)	寬長比 (W/L)
現生標本 1	39.51	36.17	1.09
現生標本 8	25.13	21.84	1.15
現生標本 9	32.85	28.51	1.15
現生標本 10	49.53	40.51	1.22
現生標本平均值	36.76	31.76	1.15
編號	殼寬 (W)	殼長 (L)	寬長比 (W/L)
化石(25)	30.68	31.83	0.96
化石(26)	26.29	27.07	0.97
化石(23)	32.40	33.20	0.98
化石(18)	18.05	17.45	1.03
化石(12)	33.43	31.67	1.06
化石(20)	29.76	28.14	1.06
化石(36)	24.44	23.04	1.06
化石(29)	26.74	24.28	1.10
化石(41)	37.27	33.89	1.10
化石(42)	34.54	30.89	1.12
化石(24)	26.39	23.28	1.13
化石(14)	30.23	26.66	1.13
化石(5)	28.47	25.13	1.13
化石(11)	37.15	32.51	1.14
化石(35)	31.06	27.15	1.14
化石(32)	33.75	29.25	1.15
化石(15)	28.97	25.24	1.15
化石(44)	26.48	22.05	1.20
化石(16)	31.48	26.01	1.21
化石平均值	30.10	26.68	1.10

表十四、艾氏飛輪蟹群的背甲殼寬長比值記錄 (W, L 單位：mm)

編號	殼寬 (W)	殼長 (L)	寬長比 (W/L)
現生標本 4	44.66	31.17	1.43
現生標本 7	35.16	24.41	1.44
現生標本 2	39.80	26.65	1.51
現生標本 3	34.79	22.29	1.56
現生標本 5	38.68	24.00	1.61
現生標本 6	36.56	24.02	1.52
現生標本平均值	38.28	25.42	1.51
編號	殼寬 (W)	殼長 (L)	寬長比 (W/L)
化石(17)	32.89	27.09	1.21
化石(1)	31.80	24.65	1.29
化石(43)	32.46	24.82	1.31
化石(45)	34.02	25.40	1.34
化石(30)	32.18	23.05	1.40
化石(31)	30.17	21.54	1.40
化石(13)	39.65	27.87	1.42
化石(21)	37.51	26.31	1.43
化石(22)	37.93	24.56	1.54
化石平均值	35.88	25.18	1.37

表十五、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹分群成員和殼寬長比值平均值

群編號	化石編號	寬長比(W/L)平均值
轉輪群 1	18	1.03
轉輪群 2	24、29、36、44	1.12
轉輪群 3	5、14、15、16、20、26、35	1.11
轉輪群 4	12、23、25、32、42	1.05
轉輪群 5	11、41	1.12
飛輪群 1	1、30、31、43、45	1.35
飛輪群 2	13、21、22	1.46



圖七、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹化石成長分群圖

五、雙角轉輪蟹的轉輪功能探討

比較化石標本和現生標本的轉輪，一方面驚訝幾百萬年來仍然沒有改變，一方面思考為何沒有改變，因此猜測這是特殊的重要功能，然而查閱前人的文獻並無記載雙角轉輪蟹的轉輪功能，雖然有化石專家告訴我們轉輪會隨著它們的爬動而旋轉，但是他個人並未實際看過活體。經過請教國內研究螃蟹的教授後，我們假設這是一個天擇的特徵：轉輪能夠幫助此蟹減少被天敵捕食，頭胸甲兩側的轉輪構造使轉輪蟹體型變得更大，捕食它的魚類需要有更大的嘴巴才能吞食此蟹。而轉輪末端的尖刺也可能具有保護的功能，可用來刺傷吞食此蟹的天敵。另外如果假設是一個性擇特徵：轉輪越長越粗壯的雄性可吸引母性。至於轉輪轉動部分，我們觀察現生標本後發現沒有關節，應該不可能轉動。最後拜訪兩位曾經以活體製作標本的螃蟹收藏家，他們證實從未看過轉輪轉動，因此我們懷疑可能是中文翻譯時的誤解。另外，我們也發現玉蟹科栗殼蟹屬的脊七刺栗殼蟹（如圖八）也有類似雙角轉輪蟹的尖刺，只是比較細。



圖八、玉蟹科栗殼蟹屬的脊七刺栗殼蟹
(圖片來源：<http://catalog.digitalarchives.tw/item/00/03/31/42.html>)

柒、結論

一、中文文獻相關資料少蒐集不易

- (一) 依據網路資料，雙角轉輪蟹現生標本主要採集地點為屏東東港海溝及楓港。除了維基百科有兩筆資料簡單記載雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹生活環境以及分布地點，並無記載食性、繁殖、性別判斷等重要生活習性資料。
- (二) 有關雙角轉輪蟹記載的前人著作很少，目前只有<台灣甲殼動物化石誌>書中記載嘉義縣番路鄉牛埔村的八掌溪河床有雙角轉輪蟹化石出土記錄，台灣其餘地區無雙角轉輪蟹化石出土資料。

二、拜訪化石專家及野外實地化石採集

- (一) 國內化石專家提供雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的現生標本 2 隻及化石 44 隻研究。
- (二) 兩位曾經以活體製作現生標本的螃蟹收藏家借用 6 隻雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的現生標本觀察及測量。
- (三) 澎湖竹灣螃蟹博物館展示 4 隻艾氏飛輪蟹和 4 隻雙角轉輪蟹現生標本。
- (四) 化石專家帶領我們到嘉義縣番路鄉牛埔村的八掌溪河床實地採集化石，非常幸運地採集到 1 隻艾氏飛輪蟹，但無轉輪、四對步足及一對螯足已斷裂，腹甲覆土過多不易觀測，只剩下背甲尚完整可觀測。

三、化石外觀構造觀察與測量

- (一) 45 隻化石全部缺少步足、螯足、眼睛、口框，僅有 2 隻保留尾部球狀突出物。腹甲抱卵肢只有 8 隻可觀察，但並不完整。具有轉輪的有 4 隻，1 隻有完整左右轉輪、2 隻有左側有轉輪，還有 1 隻有右側轉輪。
- (二) 17 隻 (大約 $17/45 = 37\%$) 軀體不完整，背甲的殼長與殼寬無法準確測量。

四、化石及現生標本的差異比較

- (一) 外觀與體色比較
 1. 化石及現生標本外觀一樣，並無太大改變，但現生標本的體型似乎較大，體色呈暗紅色。

2. 化石前額的眼睛和下方口框缺少無法觀察，尾部球狀突出物和現生標本相比顯得特別小。

(二) 性別比較與判別

1. 專家提供的現生標本只有雄性雙角轉輪蟹，並沒有雌性的雙角轉輪蟹可供比較參考。
2. 我們利用腹部抱卵肢的形狀分辨化石標本性別（一般螃蟹腹部呈現三角形為雄性、橢圓形為雌性），但大部分化石腹甲覆土過多，不易辨識腹部抱卵肢，只有 8 隻抱卵肢較為清楚，只能初估 5 隻雄性，3 隻雌性。

五、雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹的判別

- (一) 根據澎湖竹灣螃蟹博物館拍攝照片和網路的現生標本圖片比較，我們確認雙角轉輪蟹背甲呈菱形，而艾氏飛輪蟹背甲呈橢圓形，這是轉輪蟹屬與飛輪蟹屬兩類螃蟹的主要差異處。
- (二) 先過濾 17 隻軀體不完整化石，剩下 28 隻軀體較完整，以目測鑑定，菱形背甲的雙角轉輪蟹群 19 隻，橢圓形背甲艾氏飛輪蟹群 9 隻。然後利用我們提出的自動判別方法，以雙角轉輪蟹背甲殼寬長比值 (1.15) 和艾氏飛輪蟹背甲殼寬長比值 (1.51) 的中間數 $(1.15+1.51)/2 = 1.33$ 當作判別值，背甲殼寬長比值大於等於 1.33 屬於艾氏飛輪蟹，背甲殼寬長比值小於 1.33 屬於雙角轉輪蟹。雙角轉輪蟹群 19 隻自動判別正確率 100%；9 隻艾氏飛輪蟹群的正確率 67%。若是以 28 隻軀體較完整作為測試對象，正確率為 89%。另外，若是採用分群判別的改進方法，正確率為 96%。
- (三) 化石的鑑定一般是由學術界來執行，因為學術單位有豐富的標本和圖鑑可作比對，然而鑑定需投注相當可觀的人力與財力，一般人將無法達成。我們提出這個簡單有效的背甲殼寬長比值判別方法，可以快速準確的協助專家學者或一般人判別雙角轉輪蟹與艾氏飛輪蟹，這是本研究的最重要貢獻。

六、轉輪蟹的轉輪功能探討

- (一) 目前查閱前人的文獻並無記載雙角轉輪蟹的轉輪功能，觀察現生標本後，發現轉輪沒有關節，應該不可能轉動，我們懷疑可能是中文翻譯時的誤解。
- (二) 我們發現玉蟹科栗殼蟹屬的脊七刺栗殼蟹（如圖八）也有類似雙角轉輪蟹的尖刺，只是比較細。
- (三) 經過觀察與討論，我們假設這是一個天擇的特徵：頭胸甲兩側的轉輪構造使轉輪蟹體型變得更大，能夠幫助此蟹減少被天敵捕食，而轉輪末端的尖刺也可能具有保護的功能，可用來刺傷吞食此蟹的天敵。

七、後續研究與改進

- (一) 雖然收集到 45 隻化石標本，但是超過三分之一的標本並不完整，降低研究參考價值，未來我們將拜訪其他專家，參觀更多化石博物館，並安排更多野外實地化石採集。
- (二) 化石專家建議可以利用背甲上的突起顆粒或轉輪形狀來區分艾氏飛輪蟹及雙

角轉輪蟹，另外也建議我們可利用轉輪粗細分辨性別，這些都是未來可以考慮這個研究方向。

(三) 未來我們將盡力到楓港或東港採集活體，了解雙角轉輪蟹轉輪真正功能。

捌、參考資料

1. 台南縣政府 (民 96)。南瀛化石誌。台南縣新營市：王良傑、陳志鵬。
2. 朱偉嘉 (民 92)。台南關子嶺地區小型沙錢目海膽化石之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，未出版，台南市。
3. 艾氏飛輪蟹 (無日期)。維基百科。民 101 年 3 月 18 日，取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%89%BE%E6%B0%8F%E9%A3%9E%E8%BD%AE%E8%9F%B9>。
4. 李昱穎、施吉賢、邱敬貽 (無日期)。中華民國第 50 屆中小學科學展覽會作品說明書 國中組 地球科學科 貝類天堂—平林溪。民 101 年 3 月 18 日，取自：<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030501.pdf>。
5. 胡忠恆、陶錫珍 (民 85)。臺灣甲殼動物化石誌。臺北市：三民書局。
6. 嘉義市政府文化局 (民 93)。嘉義地區化石圖鑑。嘉義市：薛文吉。
7. 雙角轉輪蟹 (無日期)。國立海洋生物博物館 海洋生物典藏系統。民 101 年 3 月 18 日，取自：[http://210.243.40.146/BioSDS_WEB/bioDetail.aspx?spid=Ixoides cornutus](http://210.243.40.146/BioSDS_WEB/bioDetail.aspx?spid=Ixoides%20cornutus)。
8. 雙角轉輪蟹 (無日期)。維基百科。民 101 年 3 月 18 日，取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8F%8C%E8%A7%92%E8%BD%AC%E8%BD%A%E8%9F%B9>。
9. MacGilchrist, A.C., 1905. Natural History Notes from the R.I.M.S.S. "Investigator", Capt. T.H. Heming, R.N. (retired), commanding. Ser III. No. 6. An Account of the new and some of the rarer Decapod Crustacea obtained during the Surveying Seasons 1901-1904.— Annals and Magazine of Natural History, 16, pp. 361-367.
10. Lucas, H., 1846. Crustaces, Arachnides, Myriopodes et Hexapodes. Exploration scientifique de l'Algerie pendant les annees 1840, 1841, 1842. Sciences physiques. Zoologie I. Histoire naturelle des Animaux articules pt. 1, pp. 1-403, pis. 1-8., 1858. Note monographique sur le genre Ixa, Crustaces Brachyures de la famille des Oxystomes et de la tribu des Leucosiens. Ann. Soc. entom. France, ser. 3 vol. 6, pp. 179-186.

【評語】 080504

1. 能對玉蟹科化石的結構觀察仔細並提出重點。
2. 報告生動，引人入勝。
3. 對化石的工具功能未能細究，是可惜的地方。