

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 生物（生命科學）科

最佳創意獎

040709

為什麼招潮蟹傾向於往牠的大螯方向移動

學校名稱：國立中科實驗高級中學

作者：  高二 劉子立  高二 李少凡  高二 劉亭慧	指導老師：  王郁茜
---	------------------

關鍵詞：招潮蟹、光彈應力分析法

## 壹、摘要

本研究使用光彈應力分析法(*Two-dimensional photoelastic stress analysis*)，來測量網紋招潮蟹(*Uca acruata*)步足的施力情形，並利用物理觀點來解釋為什麼招潮蟹傾向於往他的大螯方向移動的現象。

## 貳、研究動機

本研究的動機來自於在高美溼地野外實察時，觀察到當網紋招潮蟹(*Uca acruata*)受到捕食者(例如當時觀察到的主要是台灣厚蟹，*Helice formosensis*)威脅時，逃跑的方向會趨向其大螯的方向跑，如果是往小螯方向跑的話行動會明顯不順且速度減慢。我們覺得應該有一個原因可以解釋這個現象，所以想做實驗探討。

## 參、研究目的

- 一、 利用光彈應力分析法，測量招潮蟹的施力情形。
- 二、 找出可能影響招潮蟹移動方向的因素。
- 三、 以物理力圖分析招潮蟹移動時的施力受力情形。
- 四、 觀察其向大螯移動的行為較其習慣行為抑或受到雙邊應力影響較大。

## 肆、實驗設備器材

### 一、研究器材與設備

編號	器材	型號/規格	附註
1.	電子秤		
2.	吉利丁粉	德國金級	膠強度200Bloom 加水調成1:11的吉利丁膠
3.	透明長方形玻璃水族缸		
4.	LED燈		42顆白光LED以10×7排列
5.	自製光罩(描圖紙、厚紙板)		
6.	偏光片2片		
7.	數位錄影機	Sony DCR-PJ5	
8.	數位相機	Nikon D5100	
9.	加熱板		

Table1 器材列表

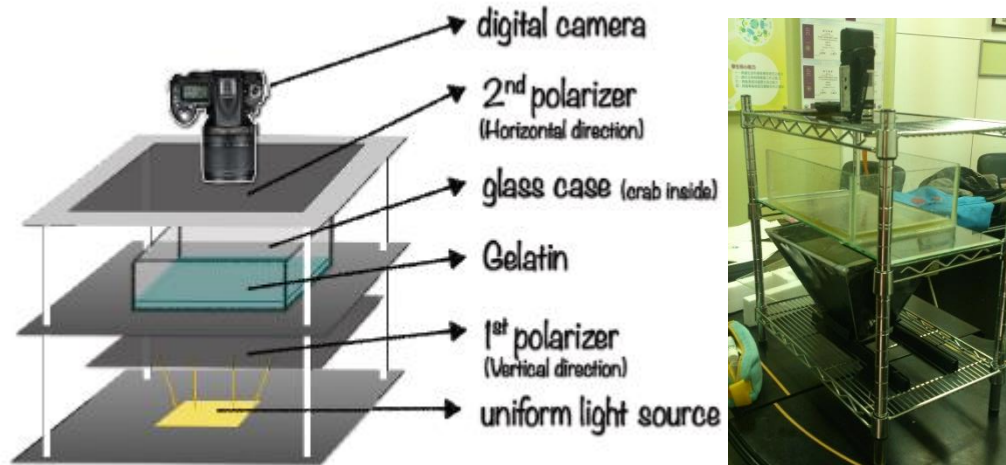


Fig.1 實驗器材示意圖

## 二、使用軟體

編號	用途	軟體
1.	觀看錄像與截取畫面	QuickTime Player (Mac OS)
2.	微調影像	Pixelmator 預覽程式 版本 7.0 (826) Apple Inc.
3.	光點數值矩陣量化	Image J (Mas OS & Windows)
4.	表格統計	Numbers, Excel

Table2 實驗軟體列表

## 三、實驗物種

網紋招潮蟹 (*Uca arcuata*)

(一) 科學分類：

Arthropoda 節肢動物門

Malacostraca 軟甲綱

Decapoda 十足目

Ocypodidae 沙蟹科

Uca 招潮蟹屬

(二) 特徵、習性：

網紋招潮蟹又稱弧邊招潮蟹，背甲深具有深色的網狀花紋，雌蟹與雄蟹的甲殼及十隻步足則以褐色為主。雄蟹(如Fig1.)大螯的掌節密集分布疣狀顆粒且呈現橘紅色，蟹夾為白色；小螯則呈現褐色或紅色。雌蟹(如Fig2.)沒有大螯，蟹夾與小螯和雄蟹相近，體型較雄性的成蟹小。



Fig.2 網紋招潮蟹(♂)



Fig.3 網紋招潮蟹(♀)

## 伍、研究過程與方法

### 一. 光彈應力分析法

我們使用來測量受力的方法叫做“光彈應力分析(Two-dimensional photoelastic stress analysis)”，它是採用具有雙折性的透明材料（偏光片），測量移動中螃蟹下方膠體的受力變化，由於光線的直線特性，只有被螃蟹踩壓的膠體折射的光線才能穿透兩片異向的偏光濾鏡而顯示影像，藉由數位錄影機與數位相機拍攝下螃蟹之光強（光點）資訊，並將光強量化成數值，經過數值運算獲得物體變形的力學訊息。因此可經由計算顯像面積來比較步足的施力大小，隨著螃蟹對吉利丁膠的施力增加,通過偏光片的光線產生更大的亮點。測量亮點的面積可以推算出施力大小和方向。

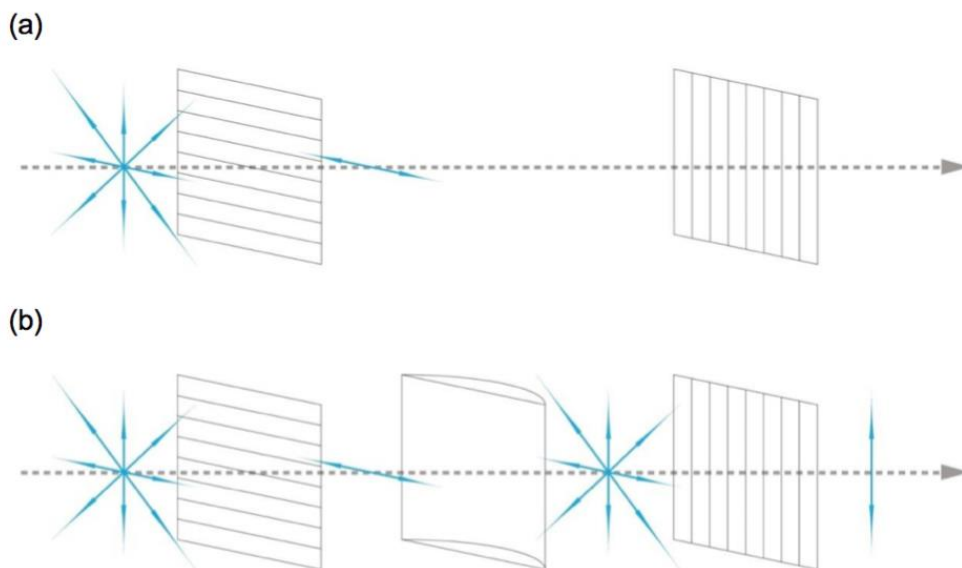


Fig.4 偏光片折射示意圖

### 二. 實驗設計

將從高美溼地（清水區，台中市）採集到的41隻網紋招潮蟹分別置於暗室中的裝置內之已調配好的吉利丁膠上，然後進行錄影，多次以不同方向驅趕招潮蟹，在

從錄像中分別截取靜止、往大螯方向以及往小螯方向的單張影像作為一次樣本。將所有搜集到的影像（使用Apple Inc. 預覽程式）先進行降低解析度至50pixels per inch，目的是避免高解析度時光點像素誤差太大，所以低解析度（畫面會一格一格）來進行量化分析會比較理想。之後還要將影像灰階化，然後將影像用電腦軟體量化每光點有多少像素(pixels)，用以作為化為力的單位，進行招潮蟹兩側力的比較。

### 三. 實驗處理

#### (一) 吉利丁膠處理

將金級吉利丁粉(膠強度 200Bloom)70加水至水490置重量百分濃度12.5%的吉利丁粉水混合液(吉利丁：水=1:7)，放在燒杯中，使用加熱板(Hotplate)以300°C加熱攪拌，然後漸漸降至80°C繼續攪拌至透明流動膠體，然後緩慢倒入透明水族缸，放到冰箱中約12小時待其凝固成透明無色之膠體。

#### (二) 影像處理

以數位錄影機記錄的影像後放到電腦以Quicktime Player播放並擷取光點明顯的影格，第一步截取出來的影像先以Apple Inc.預覽程式降低解析度並灰階化，再使用Image J軟體，先選定指定亮度區間(threshold brightness)，來讓軟體預計算的目標光點，本實驗控制的亮度區間在166~255的灰階亮度，作為選取光點受力的控制變因。然後測量已選取光點的像素數，將得到的資料放入統計表格軟體Numbers，記錄不同樣本的光點大小。

### 四. 實驗一 比較靜止時大小螯的應力差異

招潮蟹最明顯的特徵就是雄性招潮蟹那隻巨大螯足，這是和其它螃蟹最大不同的地方，同時也是分類上重要的特徵，這隻大螯足和他的身體幾乎不成比例，單單螯足本身的重量就可達他體重的30%以上，而長度可達甲長兩倍以上。

我們推測如此巨大的螯足對雄招潮蟹的施力一定有很大的影響，所以首先先以實驗探討大螯造成的應力差異。此實驗首先先將樣本的41隻網紋招潮蟹，放在吉利丁膠的裝置上，截取招潮蟹靜止時的影像，分別量出大小螯側的應力（單位面積所承受的作用力）的影像像素表示單位，並將同樣本的多張完整影像取算術平均數，得該樣本招潮蟹之應力大小。取其中畫面清晰無遮蔽完整影像的8隻雌招潮蟹與10隻雄招潮蟹樣本進行比對。

**Table3** 比較靜止時雌蟹左右側應力大小

#	左側	右側	左側-右側
1	491.7	420.0	71.7
2	44.25	30.5	13.8
3	40.0	28.5	11.5
4	26.0	31.0	-5
5	36.0	33.0	3
6	70.0	72.0	-2
7	116.0	111.8	4.2
8	57.0	55.7	1.3
平均			12.3
標準差			24.8

單位: pixels

理論上，雌招潮蟹由於無大螯影響，左有兩側應力比為一比一，而由上表實驗數據可以看出，左右應力的差平均為12.3，表示這樣的像素數可視為實驗誤差(文後第七點說明)

**Table4** 比較靜止時雄大小螯側應力大小

#	小螯側	大螯側	小螯側-大螯側
1	385.0	562.7	-177.7
2	157.8	736.0	-578.2
3	177.0	906.0	-729.0
4	284.5	752.5	-468.0
5	2.0	199.7	-197.7
6	153.0	458.0	-305
7	131.5	454	-322.5
8	136.0	390.0	-254.0
9	151.8	445.3	-293.5
10	32.3	99.3	-67.0
平均			-339.3
標準差			199.0

單位: pixels

從雄招潮蟹的數據資料顯示，大小螯側平均應力差為339.3。這樣可以看出大螯側應力大於小螯側。

## 五、 實驗二、 比較雄招潮蟹往不同方向移動時的應力差異

我們推測雄招潮蟹移動方向偏好的產生應該是因為往大螯側與往小螯側移動時的施力大小一定存在著一個差距，才會趨使招潮蟹通常往大螯側移動。實驗中取其中畫面清晰無遮蔽完整影像的11隻雄招潮蟹，放在吉利丁膠的裝置上，截取招潮蟹往大螯方向以及往小螯方向移動時的影像，量出每隻步足應力的影像像素表示單位，並將同樣本的77張完整影像取算術平均數，得該樣本招潮蟹之應力大小。結果如下：

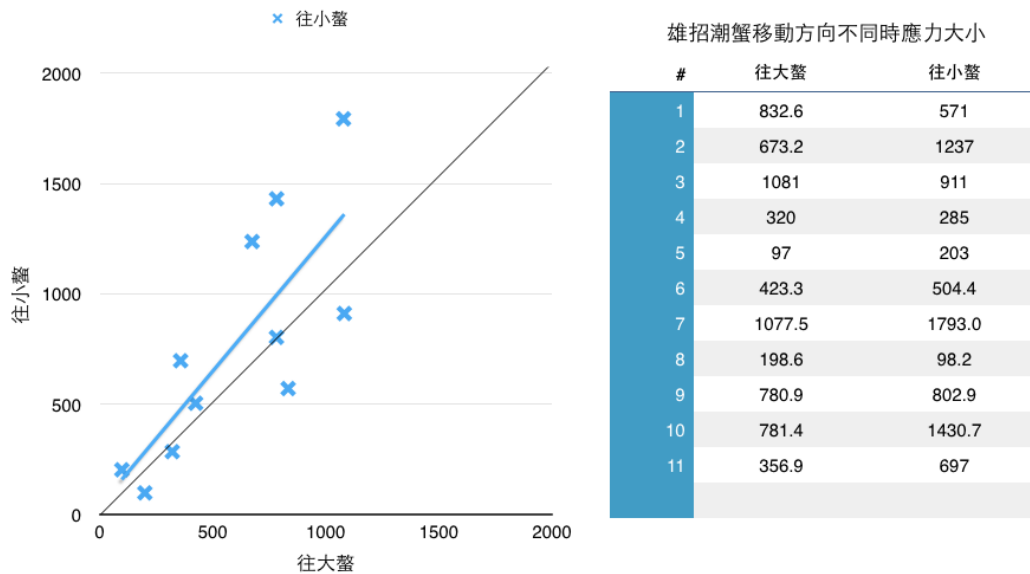


Table5 比較雄招潮蟹往不同方向移動時的應力差異

將實驗得到的往大螯與小螯的應力數據分別置於分布圖的x與y軸上，Table5中黑色線為斜率1的直線，代表當往大螯與小螯側移動應力相同時的線。而藍色線為實驗後得到的，可以看出直線往左偏移，表示小螯方向移動時應力大小大於往大螯方向移動時。

## 六、 實驗三 觀察移動方向偏好是否受到螃蟹的習慣影響。

我們加重物(迴紋針)在招潮蟹的背甲上，並控制重物為招潮蟹體重的 $40 \pm 3\%$ ，雌蟹置於背甲左側，雄蟹置於背甲小螯側，觀察招潮蟹在加重後的移動情形。以下表格為加重後的應力數據。

雌蟹		
	加重側	原側
	15	5
	48	17

Table6 雌蟹加重後應力

雄蟹		
體重(+___)	加重 (原小螯)	大螯側
	33.0	58.0
	182.3	166.3
	824.0	824.0
	809.0	552.0

Table7 雄蟹加重後應力

原本預想的情形是雄蟹移動左右無偏好差異，而雌蟹往有加重側移動。實際觀察的結果是雄蟹因重量太重而無法移動，雌蟹則可以自由行動，同時的確，雌蟹往加重側移動速率較往反方向快。因此可以推斷，招潮蟹往較重的一側(雄蟹的大螯側)移動是受到物理上受力不均勻造成。

## 七. 實驗中討論

(一)反擊時：當招潮蟹傾向於反擊而非逃跑時(雄網紋8號)，招潮蟹會舉起大螯對著威脅者，所以移動時便會往小螯方向（不遵守上述原則）。我們認為是因為他的大螯要攻擊威脅者，所以一定會把大螯面向威脅者。同時在這種情況下，招潮蟹的腳是朝後方施力的(如右圖)。在遇到這種情形時，便會捨棄這筆資料。

Fig.5 反擊時的影像



(二)姿勢的誤差：在分析時，我們發現因為螃蟹共有4對步足，所以螃蟹的姿勢對施力影響很大。從初步分析的資料來看，雌蟹無大小螯之分，但不同姿勢時力情形也會有差。又如招潮蟹的步足彎曲時的施力方向與大小皆較直而支撐身體時來的大，不屬於我們的觀察目標，因此，招潮蟹步足彎曲時的畫面不採用。同時為了減少不同姿勢造成的誤差，我們同一隻螃蟹截取多個影格進行分析再平均其像素數。另外在分析雄招潮蟹的受力時，雄招潮蟹大螯側步足著地時受到大螯重量加成影響，造成應力的光點很大，但是這個光點表示的力並非完全是我們所要討論之螃蟹的施力。所以在截取雄招潮蟹移動的影格時，我們特別放慢影片速度，只截取“起步”的影格，也就是螃蟹所要施的力。

## 陸、研究結果

從實驗一的結果看出，由於大小螯的重量差異，雄蟹大螯側的應力明顯大於小螯側。而從實驗二得到的資料，雄招潮蟹在往大螯方向移所施的平均力明顯小於往小螯側移動時所施的平均力。



支點相對於招潮蟹之幾何中心。

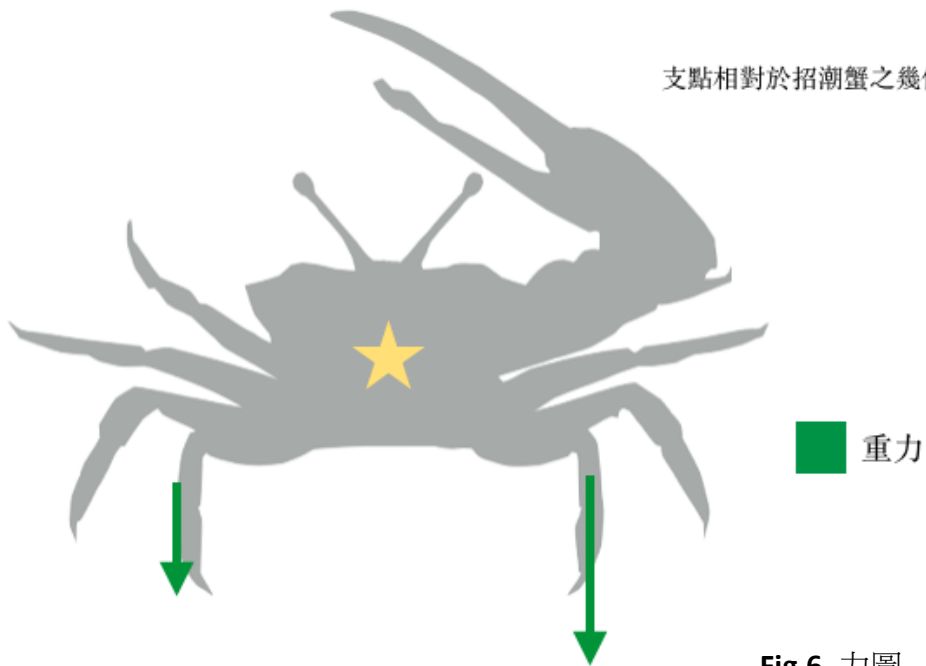


Fig.6 力圖

以上力圖(Fig.6)所示，由於大螯重量的影響，大螯側所受到的重力會比小螯側的大。〔卡通圖，以箭頭長短表示相對，不代表實際比例〕

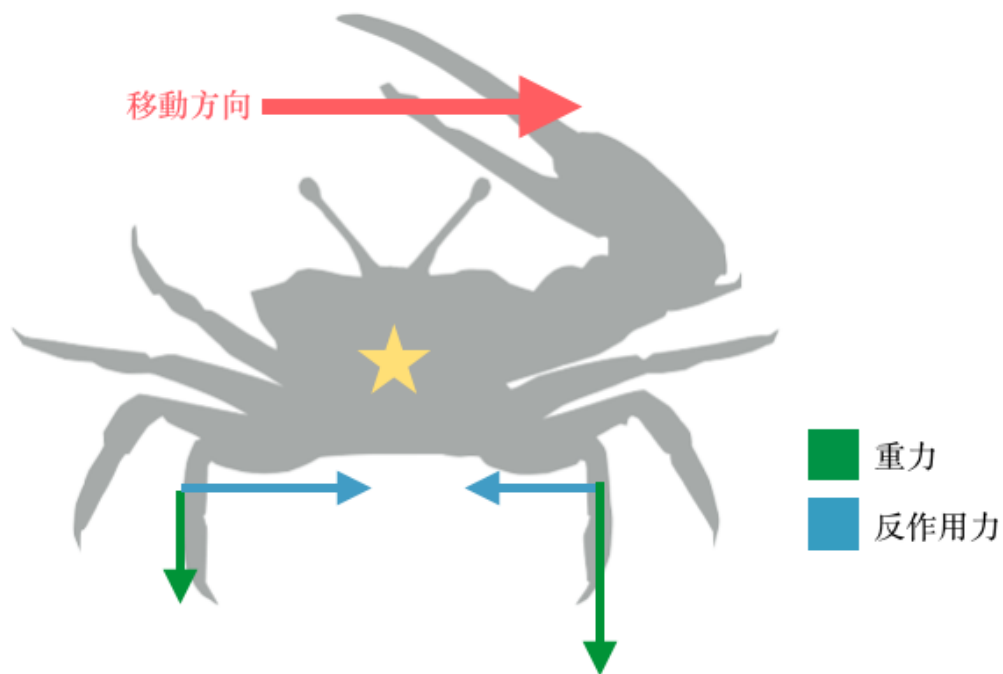


Fig.7 力圖

以上力圖(Fig.7)所示，在第一個狀況中我們討論螃蟹往大螯方向移動的情形由於是往大螯方向移動，所以地面施於螃蟹的反作用力便是箭頭「向大螯側」的大於箭頭「往小螯側」的。

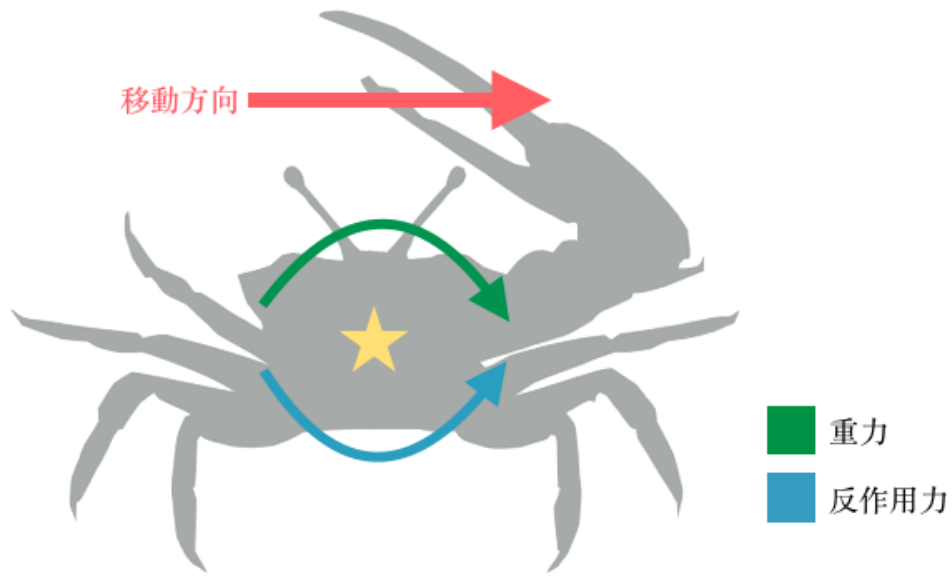


Fig.8 力圖

以上力圖(Fig.8)所示，重力對螃蟹造成了一個順時鐘的力矩，而地面施於螃蟹的反作用力對螃蟹則是造成了一個逆時鐘的力矩，兩個力矩的方向不同所以互相抵消，使螃蟹在移動上比較不會受到影響。

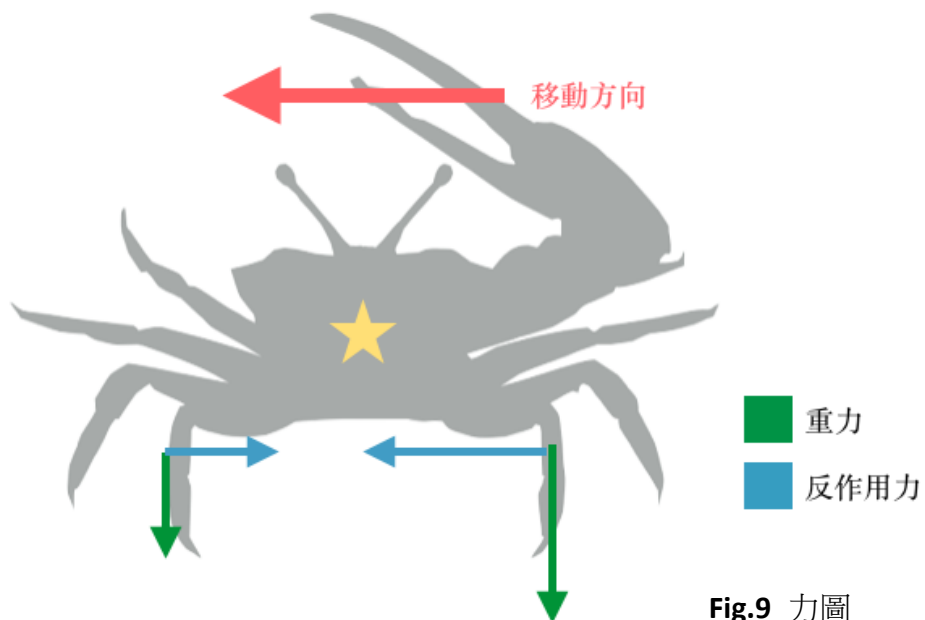


Fig.9 力圖

第二個狀況我們討論螃蟹往牠小螯方向移動的情形(Fig.9)。重力一樣是大螯側比小螯側的大，但由於現在螃蟹的移動方向是往小螯方向的，所以地面施於螃蟹的反作用力反而是箭頭「往小螯側」的大於「往大螯側」的。

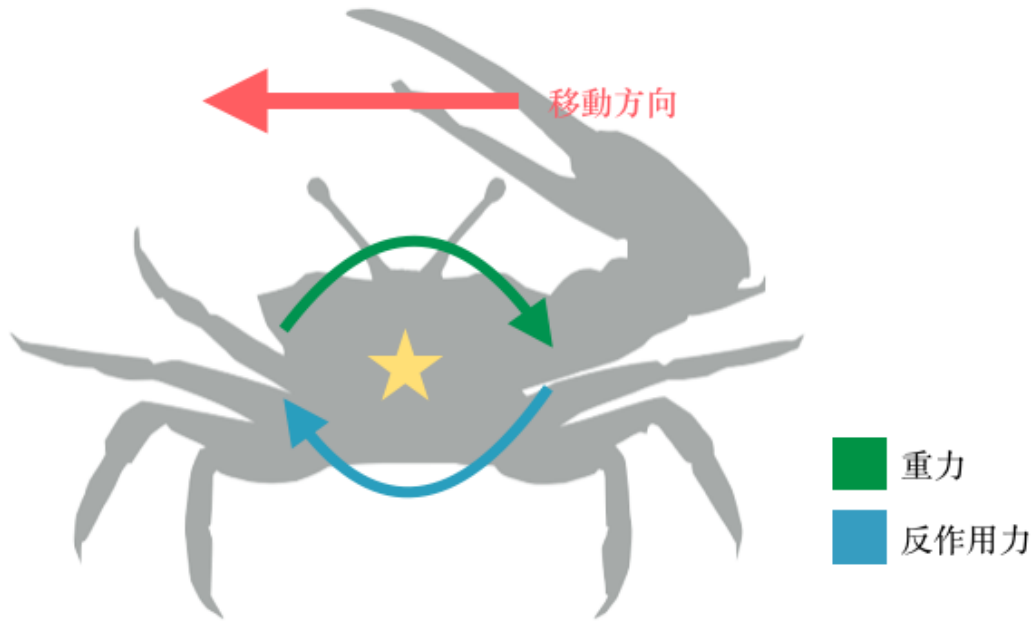


Fig.10 力圖

以上力圖(Fig.10)所示，此時重力對螃蟹造成的力矩一樣是順時針的，但是地面施於螃蟹的反作用力也對螃蟹造成一個順時針的力矩，所以當螃蟹往小螯方向移動時，這兩個力矩會是加成在一起的，並使螃蟹不容易行走。所以此種狀況相對下便會比「往大螯方向走」的狀況還要費力。

## 柒、結論

- 一、從以上所做的實驗中可以推斷，雄招潮蟹的移動方向確實是大螯導致整體重力不平均所造成。
- 二、反擊時依然符合上述原則。
- 三、由實驗三可得知，造成此種現象並不是因為生物習慣而是因為合理的物理現象。

## 捌、參考文獻

- 李榮祥。《台灣賞蟹情報》（台北市；大樹文化，2001年），頁99
- 施習德。《招潮蟹》（屏東縣；國立海洋生物博物館籌備處，1994年）
- 張博涵、林冠綦，2007。狡「蟹」三窟----網紋招潮蟹(*Uca arcuata*)的洞穴建築
- 何懷天、蘇國強、曾于芳、林惠真，2006。潮汐週期及雄蟹大螯與網紋招潮蟹建構煙囪頻率的關係。東海大學生命科學系。
- 歐姿慧，2013。東沙島潮間帶招潮蟹之分布與其棲地類型底質之分析。光彈法(Photoelastic Method)。  
<http://photo4.pme.nthu.edu.tw/principle.html>

## 【評語】 040709

運用二維光彈應力分析運動應力變化相當適宜，但膠體受力變化與畫素數變化關係屬測量工具屬性，應提供基本資料供判斷測量結果準確度參考。

採計畫素值的亮度臨界值如何界定應在方法上說明清楚！