

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：動物學科

作品名稱：這不是群體防禦一反駁行爲學家對魚群行爲的高
估

得獎獎項：動物學科佳作

學 校：臺北縣立林口國民中學

作 者：熊苓

作者簡介



小時候，看過一部卡通，描述一群小魚如何組成魚群，面對一隻大魚捕食的經過。從此，對魚、魚群及其行爲，都頗感興趣。國中時，遇到鍾兆晉老師，也參加了林口國中自然科學研究社，在鍾老師的指導下，便以魚群行爲作為研究主題，參加國際科展。這次，幸運地能通過初審，取得比賽資格，很興奮、也很緊張，更榮幸能和這麼多優秀的人才互相切磋。

Abstracts

This study is to discuss the reason that interfere the fish schooling behavior " adult fish surround the young fish ". I use mathematic simulation, to observe the result when the fishes are stimulated, due to the body size , the speed of swimming , the difference of sensitivity will make different reaction. We predict the motion dots of fish when the hunter appears on the block paper, then analyzes the motion of adult fish and young fish in dot to determine if the result remind "adult fish surround the young fish "structure. The conclusion shown that natural reaction physiologically on fish will show "Adult fish surround the young fish "results, so, the factor that interfere the structure of fish group is not so called "group defense by ethnologist".

摘要：

本研究目的，在探討影響魚群「成魚圍繞著幼魚游」的行為。

本研究是以數學模擬法，依觀察結果，設定魚在受到刺激後，因體型大小、游速的快慢、靈敏度的差異等，所產生的不同的反應。再在方格紙上模擬魚群在捕食者出現時，游開的動線。最後分析成魚幼魚的動線分布情形，是否仍是「成魚游在幼魚外圍」的魚群結構。

研究結果發現，依魚類的生理條件所設定的條件下模擬，自然形成「成魚游在幼魚外圍」的魚群結構。所以，影響魚群結構的因素，的確不是行為學家所說的防禦行為。

壹、研究動機：

曾經在一本有關魚的書中看到「魚群（fish schooling）在移動時，成魚會游在幼魚外，形成成魚圍繞著幼魚游的狀態。」；也曾經看到一些關於魚的影片，也是如此；還曾經在日本一個魚的網頁上，看到其中的圖片，在闡述「同一種魚在轉身時，會因為體型大小不同，而有不同的角度；前進時也會有不同的速度；對刺激的感受與反應也因此有快有慢。」在心中覺得很納悶，因為曾經在資料上有學者專家說：「這就是群體防禦（group defense），是成魚為了保護幼魚所做出來的行為。」於是，我懷疑：魚是因為知道要保護幼魚所以成魚圍繞在幼魚外圍？還是因為生理的條件，而產生這種「成魚圍繞著幼魚游」的物理現象呢？所以，我想進一步探討魚的群體防禦行為。或許聰明的人類，可以效法魚群機制提昇人類社會的和諧；也可以藉由魚群這樣的模式化行為，在漁業捕撈時，更能選擇性的捕撈成魚，使漁業能由資源掠奪型轉向為資源管理型。發展永續經營的漁業，才是人類的福祉。

貳、實驗目的：

- 一、觀察各式魚群的活動，以確定魚群的行為；
- 二、建立數學模型，以模擬魚群的活動；
- 三、推論魚群在不同狀態行為的發展。

參、材料與方法：

一、名詞的定義：

1. 魚群：隨時調整自己的速度和方向，以配合群中其他成員的 3 尾或 3 尾以上的魚的組合，即稱為魚群（Partridge 1982）。
2. 成魚：已成熟的魚，體型較大。速度比幼魚快，反應比幼魚遲鈍。
3. 幼魚：未成熟的魚，體型較小，速度比成魚慢，反應比成魚靈敏。

二、觀察：首先必須對魚群作詳實的觀察。所研究的魚群不限種類，不限地點，不限方式，將觀察的範圍區分為：1.影片的觀察，2.魚池的實地觀察，3.水族箱的實地觀察。如圖一.圖二.圖三。



圖一. 以 Discovery 的海底奇觀影片觀察。



圖二. 在鄰居的魚池實地觀察。



圖三. 到水族館實地觀察。



三、數學模擬法：

這方法是按照研究目的，選出對魚類行為產生影響的主要因子，建立數理模型，再從模擬結果判斷模型的準確性，或根據實驗數據對模型進行統計檢驗再修正結果。

1. 在方格紙上模擬魚群在刺激（捕食者）出現時，游開的動線。
2. 分析成魚幼魚的動線分布，也就是所要探討的魚群結構。
3. 模擬參數與代碼說明詳見表一。

(1)成魚因為體型大，動作不如幼魚靈敏，所以設定成魚轉動角度與刺激方位成 90 度，順時針或逆時針則隨機設定；幼魚轉動角度與刺激方位平行且反方向。

(2)幼魚發育比較不成熟，對刺激的感應較弱、游速較慢，反應距離應當會縮短，所以設定幼魚的反應距離皆減成魚一長度單位。

(3)若魚所在位置相對於刺激方位較遠，且超越初始位置範圍之外，因接受刺激的強度相對較弱，所以反應距離亦減一長度單位。

(4)用骰子隨機定出刺激方位、強度與大魚的反應方向，如表二。

表一. 模擬魚群狀態一覽表。

編號	成魚數	幼魚數	初始排列	刺激次數	刺激方位	記號	反應方向	刺激強度	成魚游速	幼魚游速
實驗一	5	4	大小大小大小大小	20	隨機	成魚以暖色系畫記	成魚和刺激成 90 度轉向	6	6	5
								5	5	4
								4	4	3
						幼魚以冷色系畫記	幼魚和刺激成 180 度轉向	3	3	2
								2	2	1
								1	1	0
實驗二	4	5	小大小大小大小	20	隨機	成魚以暖色系畫記	成魚和刺激成 90 度轉向	6	6	5
								5	5	4
								4	4	3
						幼魚以冷色系畫記	幼魚和刺激成 180 度轉向	3	3	2
								2	2	1
								1	1	0
實驗三	5	4	同實驗一	20	北	成魚以暖色系畫記	成魚和刺激成 90 度轉向	6	6	5
								5	5	4
								4	4	3
						幼魚以冷色系畫記	幼魚和刺激成 180 度轉向	3	3	2
								2	2	1
								1	1	0

表二. 隨機數據表。

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
實驗一 模擬1	刺激	方位	N	N	S	E	N	S	S	W	S	E	E	N	S	W	S	N	N	W	W	N
		強度	6	1	4	3	1	4	3	6	5	4	1	6	1	1	6	6	6	2	1	6
	反應	大魚	E	E	W	S	W	W	E	N	W	N	S	W	E	S	E	E	W	S	S	E
		強度	6	1	4	3	1	4	3	6	5	4	1	6	1	1	6	6	6	2	1	6
小魚	方位	S	S	N	W	S	N	N	E	N	W	W	S	N	E	N	S	S	E	E	S	
	強度	5	0	3	2	0	3	2	5	4	3	0	5	0	0	5	5	5	1	0	5	
實驗一 模擬2	刺激	方位	E	N	W	S	W	W	N	N	W	S	E	E	W	S	S	W	W	N	W	S
		強度	5	1	3	3	2	5	2	1	1	2	3	6	1	4	5	6	2	5	5	2
	大魚	方位	N	E	N	E	S	S	E	W	S	E	N	S	S	E	W	S	N	W	N	E
		強度	5	1	3	3	2	5	2	1	1	2	3	6	1	4	5	6	2	5	5	2
小魚	方位	W	S	E	N	E	E	S	S	E	N	W	W	E	N	N	E	E	S	E	N	
	強度	4	0	2	2	1	4	1	0	0	1	2	5	0	3	4	5	1	4	4	1	
實驗二 模擬1	刺激	方位	N	E	E	W	S	N	E	W	W	S	S	E	W	N	E	S	S	W	E	N
		強度	5	3	1	5	3	5	1	2	1	4	4	4	1	6	5	3	5	5	1	1
	大魚	方位	W	S	N	N	E	E	S	S	S	E	W	S	S	W	N	W	E	N	N	E
		強度	5	3	1	5	3	5	1	2	1	4	4	4	1	6	5	3	5	5	1	1
小魚	方位	S	W	W	E	N	S	W	E	E	N	N	W	E	S	W	N	N	E	W	S	
	強度	4	2	0	4	2	4	0	1	0	3	3	3	0	5	4	2	4	4	0	0	
實驗二 模擬2	刺激	方位	W	W	E	E	E	N	S	E	S	S	N	W	W	W	N	S	E	E	E	N
		強度	6	2	1	1	5	2	5	1	3	2	6	1	5	2	3	1	4	3	3	2
	大魚	方位	N	N	N	S	S	W	W	S	E	E	W	S	N	S	W	W	S	S	S	W
		強度	6	2	1	1	5	2	5	1	3	2	6	1	5	2	3	1	4	3	3	2
小魚	方位	E	E	W	W	W	S	N	W	N	N	S	E	E	E	S	N	W	W	W	S	
	強度	5	1	0	0	4	1	4	0	2	1	5	0	4	1	2	0	3	2	2	1	
實驗三 模擬1	刺激	方位	N	N	N	N	N															
		強度	2	6	4	3	3															
	大魚	方位	W	E	W	W	E															
		強度	2	6	4	3	3															
小魚	方位	S	S	S	S	S																
	強度	1	5	3	2	2																

肆、結果：

- 一、活動範圍如實驗一模擬1~實驗三模擬1的模擬圖（附圖一~五），以最大之範圍計算魚活動面積，發現每張模擬圖的成魚活動面積、幼魚活動面積及他們的平均面積，在統計上都有明顯的差異。

表三. 成魚、幼魚活動範圍比較表。（單位：平方格）

	實驗一模擬1	實驗一模擬2	實驗二模擬1	實驗二模擬2	實驗三模擬1	平均值
成魚	188	246.5	162.5	180.5	86	172.7
幼魚	141.5	119.5	153	82	104	120

二、在動線中，成魚和成魚，幼魚和幼魚，牠們的交點數如表四。

表四. 成魚和成魚，幼魚和幼魚的動線交會點數比較表（單位：個）

	實驗一模擬 1	實驗一模擬 2	實驗二模擬 1	實驗二模擬 2	實驗三模擬 1	平均值
成魚	37	35	30	20	0	24.4
幼魚	17	25	35	22	0	19.8

三、在模擬實驗的最終點，計算每一條魚到其他各條魚的距離，找出成魚的最大值 61 格
最小值 4 格；幼魚的最大值 21 格最小值 9 格。在統計上有明顯的差異，如表五。

表五、終點的成魚之間、幼魚之間距離統計表（單位：平方格）

	魚數量(n)	距離最大值(長度單位)	距離最小值(長度單位)	平均值
成魚	4	61	4	32.5
幼魚	5	21	9	15

四、在實驗三，設定刺激方位只有一種方向，在模擬過程 5 次後，成魚和幼魚，已經分開變成兩個魚群，見附圖五。

五、統計成魚、幼魚各自活動範圍和兩者重疊的比例如表六，其中在實驗一模擬 2、實驗二模擬 2 成魚和幼魚活動重疊的面積佔成魚活動面積的比例明顯小很多。

表六、成魚、幼魚活動範圍重疊的比例表

	實驗一 模擬 1	實驗一 模擬 2	實驗二 模擬 1	實驗二 模擬 2	實驗三 模擬 1	平均值
成魚活動面積	188	246.5	162.5	180.5	86	172.7
成魚和幼魚活動重疊的面積	99	89	127	30	52	79.4
幼魚活動面積	141.5	119.5	153	82	104	120
成魚和幼魚活動重疊的面積佔成魚活動面積的比例(%)	53	36	78	17	60	48.8
成魚和幼魚活動重疊的面積佔幼魚活動面積的比例(%)	70	74	83	37	50	62.8

伍、討論：

- 一、在實地觀察中，發現單用肉眼很難跟上魚的游動速度。用攝影機拍攝下來，用慢速播放來觀察，比較清楚。
- 二、依結果（一）分析：大魚速度比小魚快；大魚轉向的角度比幼魚小。在實驗中對魚在刺激後的反應，設定是成立的。
- 三、由結果（一）顯示：幼魚活動範圍平均值是 120 平方格，明顯比成魚的範圍平均值 172.7 平方格小很多；自然而然不需要有意識的，就形成「成魚圍繞著幼魚游」的物理現象。
- 四、由模擬圖顯示 2 種分布情形（見附圖一～五）；在實驗一模擬 1、實驗二模擬 1 呈現「成魚圍繞著幼魚游」的物理現象；在實驗一模擬 2、實驗二模擬 2 所呈現的是成

魚和幼魚明顯分成兩個魚群，因此推論所看到的魚群，為什麼魚隻總是體型大小相似，原因就是體型相似，靈敏度和速度就相似，也才能夠組成魚群。

- 五、結果（二）呈現出：不論移動範圍大小，成魚重複游過的交會點數，有時成魚較多，有時幼魚較多，成魚的平均值 24.4 個大於幼魚的平均值 19.8 個，與最初的假設（活動範圍較大時交會點數應該比較少）不符，值得再探討。
- 六、依結果（三）模擬到最後，幼魚與幼魚之間的距離平均值 15 格比成魚平均值 32.5 格小；得知幼魚較集中，成魚較為分散，形成「成魚圍繞著幼魚游」的物理現象。
- 七、從結果（四）和結果（五）可以看到成魚和幼魚，分開變成兩個魚群，這可證明無論哪一種魚的魚群，它們的成員組合，總是體型大小相似。
- 八、從實驗結果推論，如果魚有利他行為，成魚知道如何保護幼魚，那麼魚群在面對刺激（掠食者）時，成魚的反應是否應該是挺身而出的呢？是否應該游向刺激與幼魚之間捍衛幼魚才是呢？
- 九、漁業打撈應針對「物理刺激、體型、靈敏度和速度」等因素，研究如何走向資源管理的漁業發展。

陸、結論：

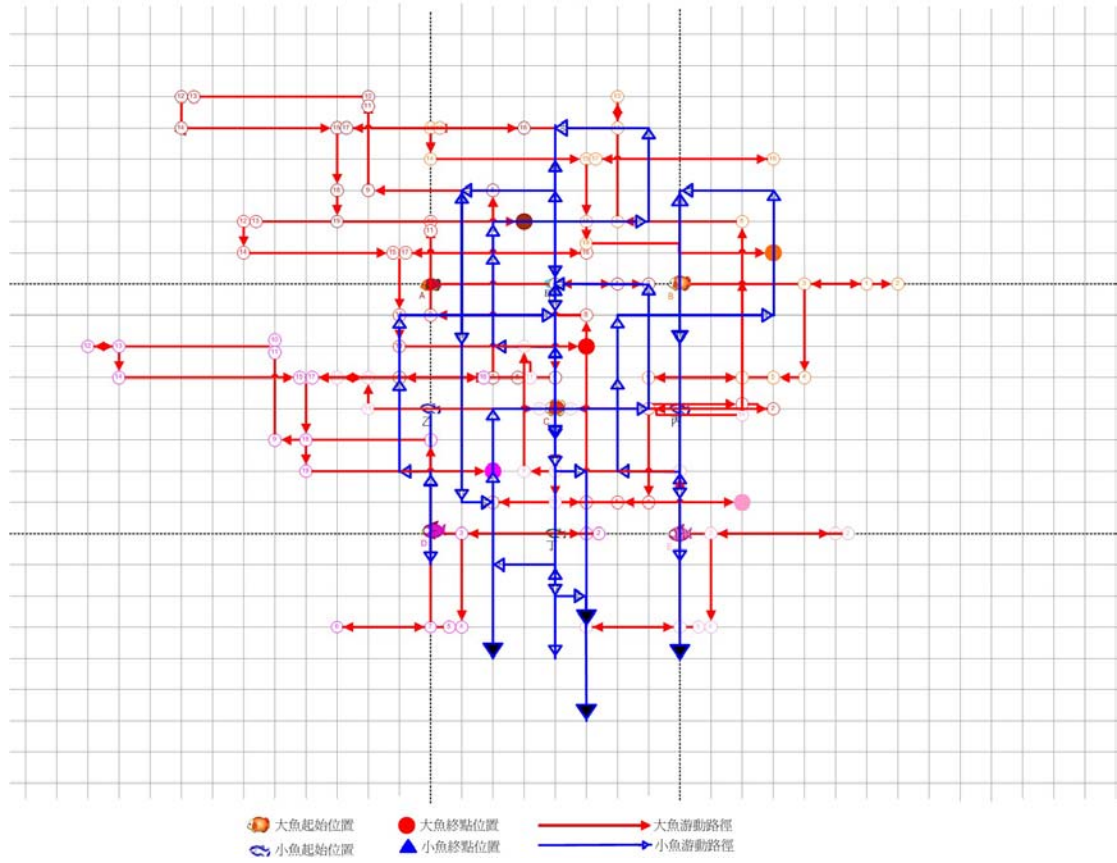
- 一、從實驗得到，成魚的平均活動面積為 172.7 平方格，大於幼魚平均活動面積的 120 平方格，成魚的平均動線交會點數為 24.4 個，小於幼魚平均動線交會點數 19.8 個，模擬終點成魚之間的平均距離 32.5 格，大於幼魚之間的平均距離 15 格。這些結果證明了，魚在受到刺激後，因為體型大小不同、因為游速的快慢、因為靈敏度的差異，而有不同的反應。這樣不同的反應，不需要任何意念，就自然形成「成魚游在幼魚外圍的魚群結構」。
- 二、在實驗三，刺激方位設定在固定單一方向下，在模擬過程 5 次後，成魚和幼魚就明顯分成兩個魚群這可證明無論哪一種魚的魚群，它們的成員組合，體型大小相似，沒有成魚保護幼魚的現象。
- 三、所以，在做完實驗後，對行為學家認為「成魚游在幼魚外圍的魚群結構是魚類天性的利他行為，而產生的群體防禦行為」，令人感到懷疑。因此我提出反駁。

柒、參考資料：

- 一、朱祥海編著，1997，魚類學，水產出版社，p574。
- 二、何大仁、蔡厚才編著，1999，魚類行為學，水產出版社，p9、p275—p312。
- 三、何大榮編譯，1988，魚類行為與捕撈，五洲出版社，p126—p155。
- 四、韓麗明譯，1976，魚類生態學，徐氏基金會，p156—p167。
- 五、動物行為/時代自然文庫，1977，時代公司。
- 六、生態學/時代自然文庫，1977，時代公司。
- 七、海底奇觀，Discovery 出版。
- 八、目擊者/魚，漢聲出版。
- 九、藍色星球，英國 BBC 出版。

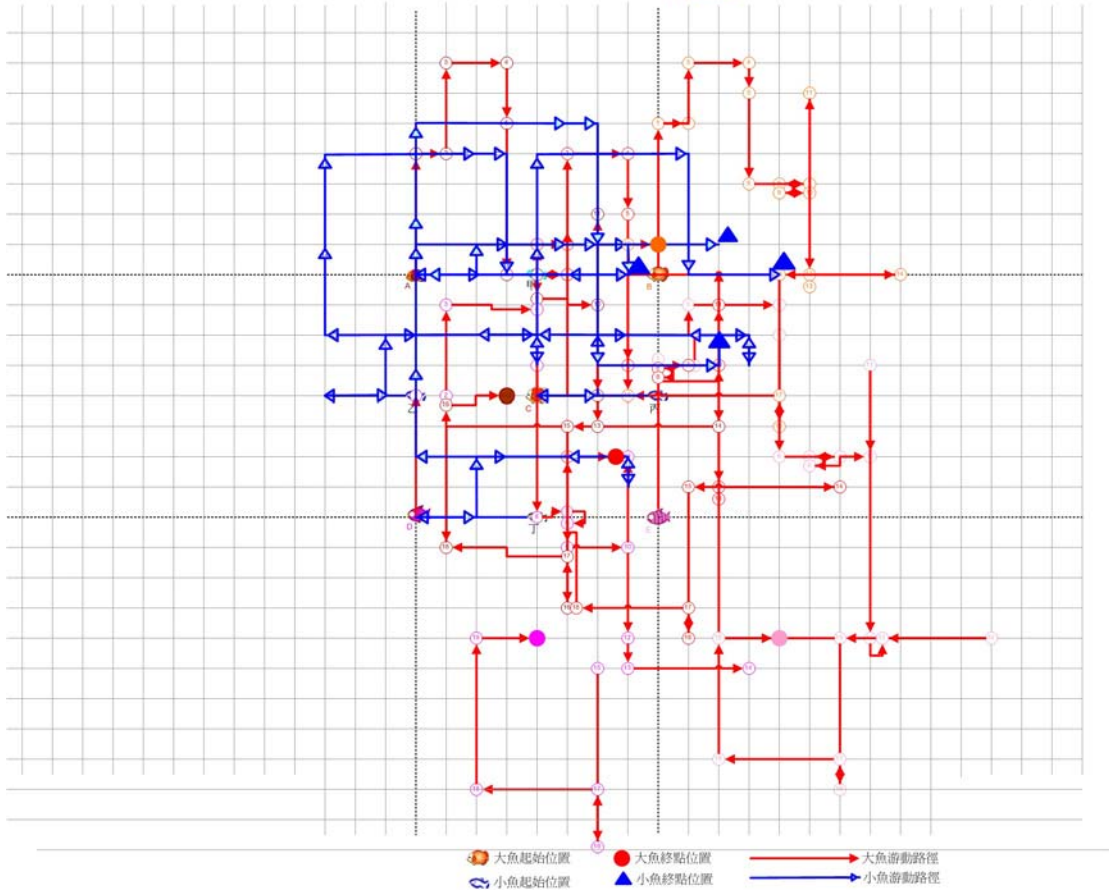
附圖一

實驗一 模擬1



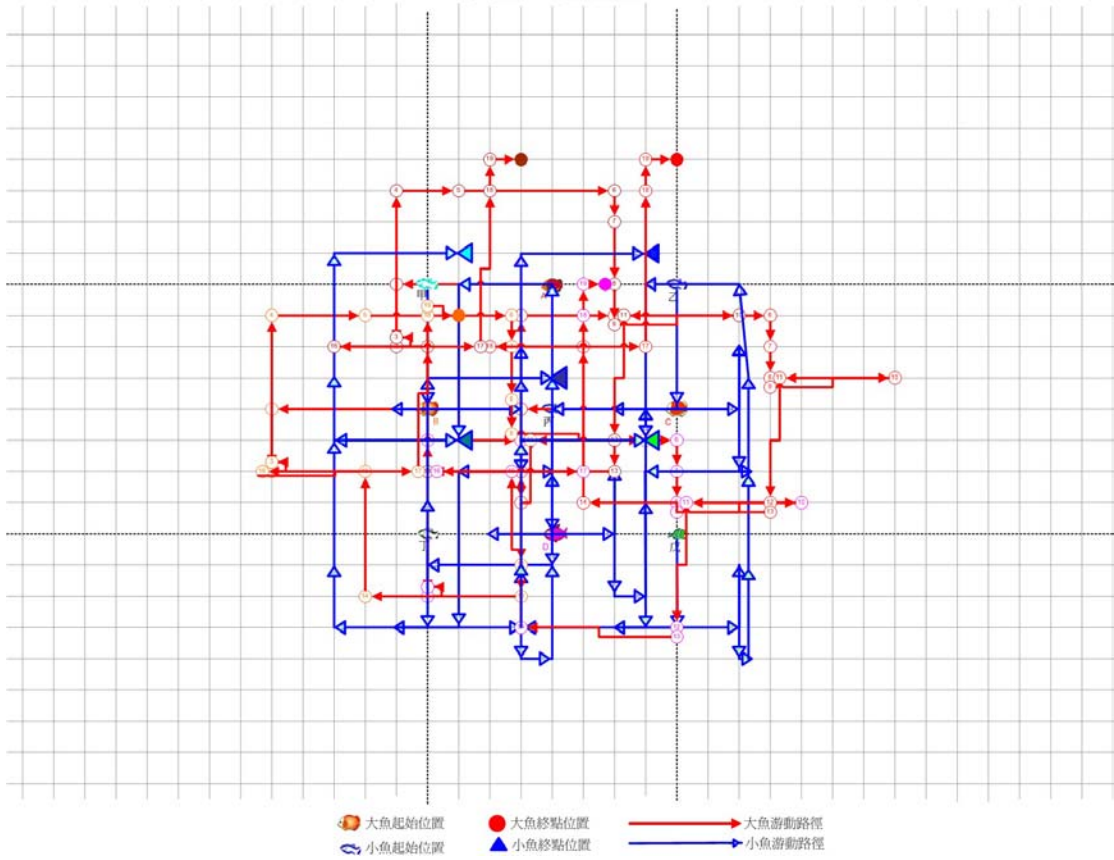
附圖二

實驗一模擬2



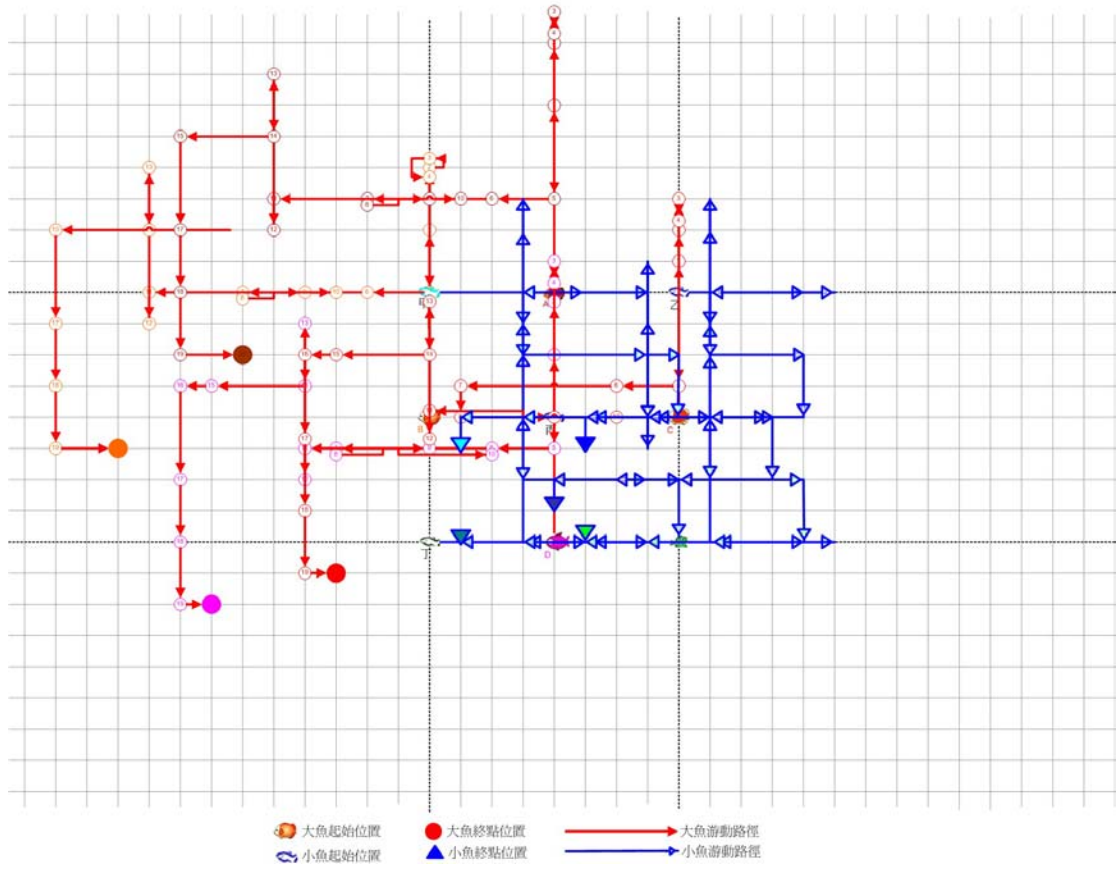
附圖三

實驗二模擬1



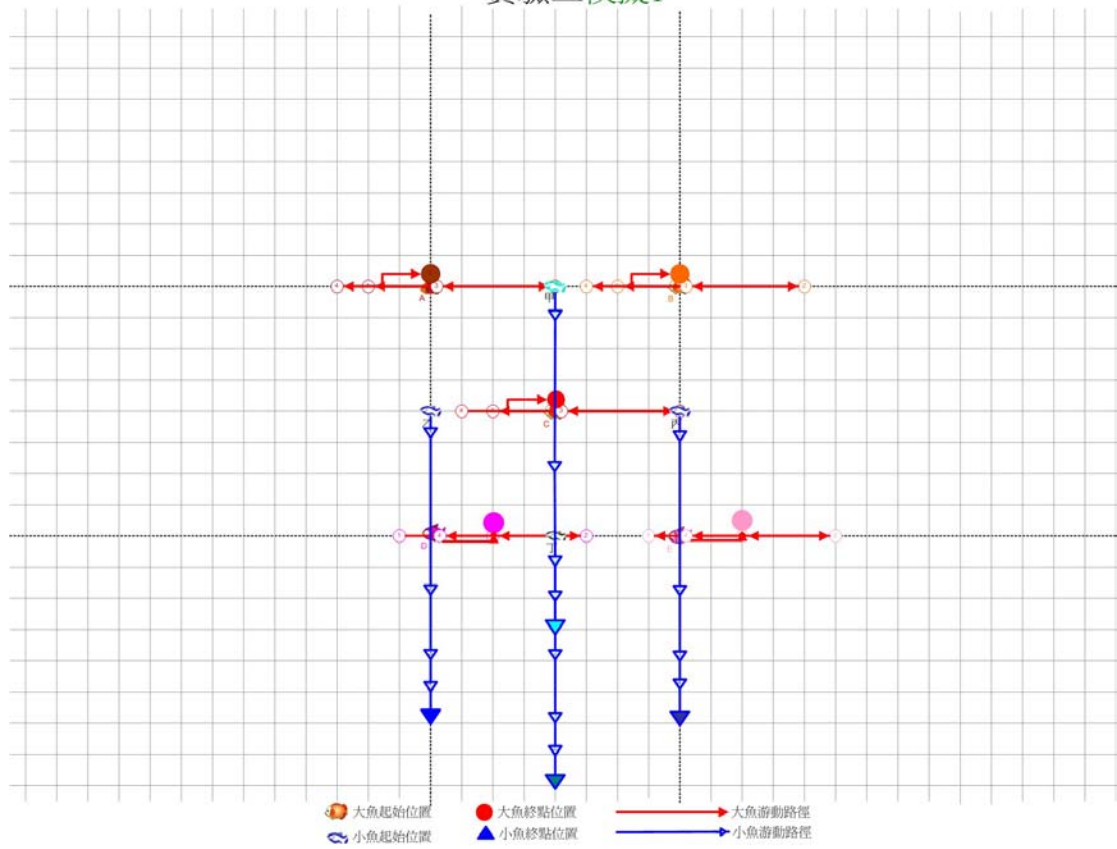
附圖四

實驗二模擬2



附圖五

實驗三模擬1



評語

本件作品是針對一些淡水魚科進行群聚行為之探討。其觀察的設計已具有科學的做法，唯以其某些種魚科的行為表現來論斷所有魚類的行為仍不是最精確的科學態度。

本作品充其量只反應出作者做實驗的魚種行為而已，無論如何作者已有科學作的做為應再繼續的努力，未來會更有表現。