

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

030108

水裡的容顏--奇妙的虎沙紋

學校名稱：彰化縣立溪湖國民中學

作者： 國二 賴奕丰 國二 張軒甄 國二 楊東昇 國二 莊真綾	指導老師： 陳鍾瑛 張蒼州
---	-----------------------------

關鍵詞：模擬材質、水波、沙紋（水底紋路）

水裡的容顏--奇妙的虎沙紋

摘要

利用水波槽與沉澱物模擬材質模擬潮間帶海底沙紋之存在，探究水面水波影響水波槽底模擬材質的沉澱情形，發現起波器振幅越大、水深度越小水底紋路產生所需的時間越短，並發現木屑與芝麻粉會受到水面駐波影響，沉澱會有集中在節線處的情形，而形成紋路。可推論潮間帶的海底沙紋應與海浪有關。

壹、研究動機

以前去海邊玩時，退潮之後總是會看到沙灘上有美麗的沙紋，聽爸爸說這些美麗的沙紋其實還有實用性的價值。據說在海邊潮間帶工作的漁民，在天黑之後無法看清海岸的方向時，可以靠著腳底感覺沙紋的方向回到岸邊來。因此，這些沙紋的形成應該與當地的風向有關，可能是風吹造成海面的水波，進而使水底產生沙紋。自然課時在上到水波時，跟同學提到這個現象，於是我們幾個好朋友就心血來潮想要去一探究竟，經由老師指導與同學們的討論，並上網搜尋資料，而就此展開我們探討那美麗的沙紋之旅。



貳、研究目的

- 一、研究一研討反射板的材質對水底紋路產生作用的影響。
- 二、研究二為對形成水底紋路之水底模擬材質尋找之研討。
- 三、研究三探究水波的振幅對水底木屑及芝麻粉所產生水底紋路隨時間變化之影響歷程。
- 四、研究四探討水的深度對水底木屑及芝麻粉所產生水底紋路隨時間變化之影響歷程。
- 五、研究五探究水的波長與水底木屑形成之水底沙紋間距關係的發現。

參、研究設備及器材

設備與器材	水波槽	起波器	反射板	海綿	照明燈
數量	1 個	1 個	3 個	1 組	1 個

設備與器材	照相機	腳架	測頻儀(閃光)	計時器	鐵架
數量	1 個	1 個	1 個	1 個	1 組

設備與器材	燒杯	量筒	電子秤	直鐵尺	方格紙
數量	6 個	4 個	1 個	1 個	2 張

材料	細沙	芝麻粉	油菜籽	木屑	水
數量	1 包	1 包	1 包	1 包	適量



裝置圖



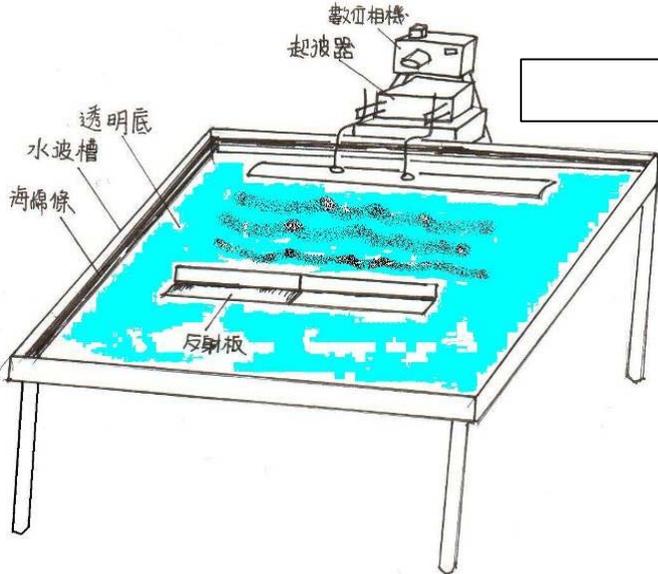
細沙 油菜籽 芝麻粉 木屑

模擬材質

肆、研究過程或方法

一、方法

(一)實驗裝置



海綿條

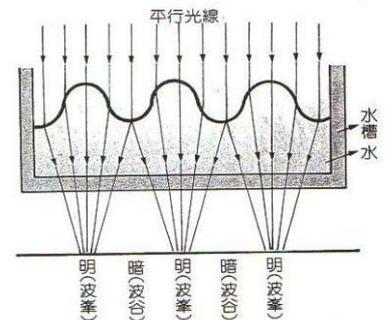
反射板



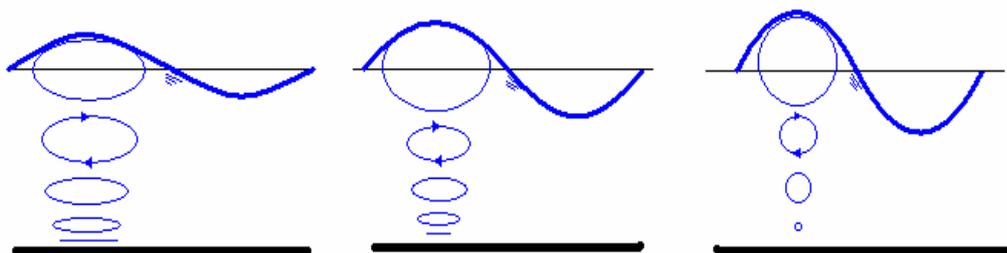
(二)原理說明

將光源架設於水波槽上方，若架設的光源離水波槽越高，則光線經過水波槽越近似平行光入射，水波的波峰處就相當於凸透鏡，可會聚光線，投影在地面上形成一條一條亮紋；波谷處相當於凹透鏡，能發散光線，在地面上就形成暗紋。

在水波槽內四周放入海綿條，可以消除雜亂的反射波，並在水槽中間放入反射板，讓水波在起波器及反射板間形成駐波，所以水波波峰(腹線)可會聚光線在地上形成亮紋，造成視覺上感覺明亮處，水波節點可讓光線在地上形成灰色地帶，造成視覺上感覺較暗處。



如果水波能影響水底沙紋，則波峰處的沙子將因水的圓形軌跡晃動而隨之移位，受到水的推進力量進而集中在節點處。



二、研究過程

(一)進行合適的反射板尋找之實驗

以細木屑作為水底模擬材質，分別取鋁條、木條、海綿當反射板，找出合適的反射板。

鋁條



木條



海綿



(二)測量模擬材質密度

以電子磅秤秤出水中模擬材質的重量，再把水中模擬材質放入量杯中，加入 40 毫升的水，測得水加模擬材質的體積，再扣除水的體積，即可得水中模擬材質的體積，就可以算出水中模擬材質的密度。

(三)進行合適模擬材質尋找之實驗

分別以細沙、油菜籽、細木屑、芝麻粉作為水底模擬材質，使用相機每五秒拍一張照片，記錄水底沙紋隨時間變化之歷程，以便找出合適的模擬材質。



細沙



油菜籽



木屑



芝麻粉

(四) 在相同振幅下，改變水的深度，以細木屑和芝麻粉作為水底模擬材質，進行水波槽實驗。

1. 以細木屑作為水底模擬材質，在相同振幅下，每次增加 0.2 cm 水深的變化，使用相機每五秒拍一張照片，記錄水底沙紋之變化，直到紋路形成。
2. 以芝麻粉作為水底模擬材質，在相同振幅下，每次增加 0.2 cm 水深的變化，使用相機每五秒拍一張照片，記錄水底沙紋之變化，直到紋路形成。

(五) 在相同水深下，改變起波器振幅，以細木屑和芝麻粉作為水底模擬材質，進行水波槽實驗。

1. 以細木屑作為水底模擬材質，在相同水深下，改變起波器振幅，即起波器振幅以3(小)、5(中)、7(大)三個位置變化來進行實驗，使用相機每五秒拍一張照片，記錄水底沙紋之變化，直到紋路形成。
2. 以芝麻粉作為水底模擬材質，在相同水深下，改變起波器振幅，即起波器振幅以3(小)、5(中)、7(大)三個位置變化來進行實驗，使用相機每五秒拍一張照片，紀錄水底沙紋之變化，直到紋路形成。



(六)進行水波波長與水底木屑紋路間距測量之實驗

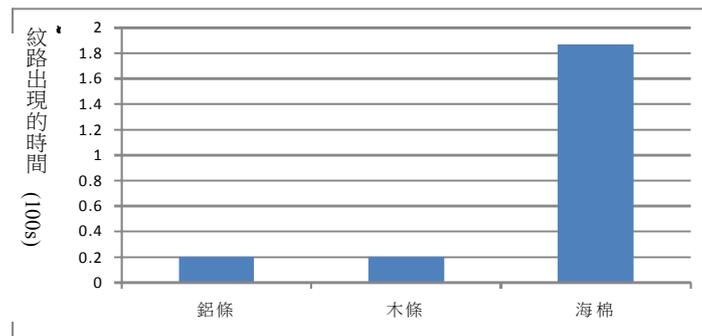
1. 以細木屑為模擬材質，利用固定起波器與反射板間的距離，調整起波器頻率，讓水面形成穩定的水波，以測頻儀測量起波器頻率後，進行測量水波波長。將方格白紙直接貼於水波槽外面底部，相鄰兩亮紋的間距即為水波波長，拍照下來，從電腦放大照片中方格對照刻度尺，來測得水波波長。
2. 亦以上述方法測細木屑形成的紋路之間距。

伍、研究結果

一、以木屑作為水底模擬材質，水波槽內裝水，水深 0.5 公分條件下，分別取鋁條、木條、海綿條當反射板，記錄水波槽底木屑紋路出現的時間，結果如下表一和圖一。

表一

反射板	鋁條	木條	海綿
紋路出現時間	20 秒	20 秒	3 分 7 秒



圖一

二、測量模擬材質之密度如表二

表二 各模擬材質之密度

材質	細沙	木屑	芝麻粉	油菜籽
質量(g)	10.8	1.1	4.2	5
體積(cm ³)	7	1	4	4
密度(g/cm ³)	1.54	1.1	1.05	1.25

三、水深 0.5 公分水波槽內，起波器振幅 7，分別以細沙、油菜籽、細木屑、芝麻粉作為水底模擬材質

(一) 以細沙作為水底模擬材質時



=> 記錄時間共 5 分鐘，水底沙紋幾乎沒有變化。

(二)以油菜籽作為水底模擬材質時



=>記錄時間共 5 分鐘，水底沙紋幾乎沒有變化。

(三)以芝麻粉作為水底模擬材質時



=>記錄時間 50 秒時，水底紋路出現。

(四)以細木屑作為水底模擬材質時



=>記錄時間 20 秒時，水底紋路出現。

四、在相同水深下，改變起波器振幅

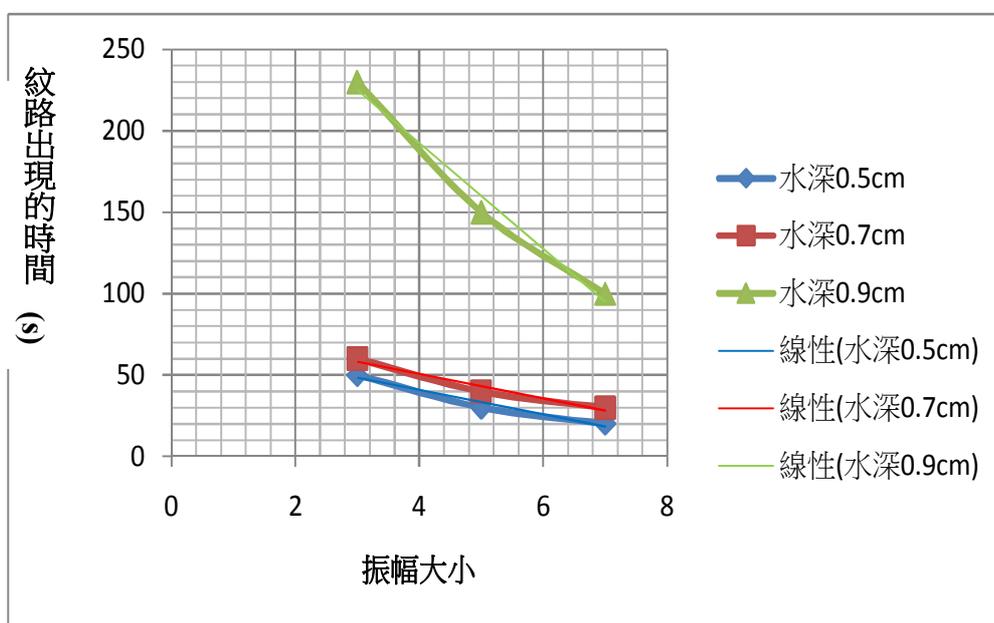
(一)以木屑作為水底模擬材質，五秒拍一張照片，記錄紋路出現時間。

(振幅大小以起波器上所設定之振幅調節刻度為準)

1.水深、振幅與紋路出現時間紀錄表

水深(cm)	0.5cm			0.7cm			0.9cm		
振幅	7	5	3	7	5	3	7	5	3
紋路出現時間(秒)	20	30	50	30	40	60	100	150	230

2.其水波槽底紋路出現的時間隨水的振幅變化關係圖分別如下圖二



圖二

(二)以芝麻粉作為水底模擬材質，五秒拍一張照片，記錄紋路出現時間。

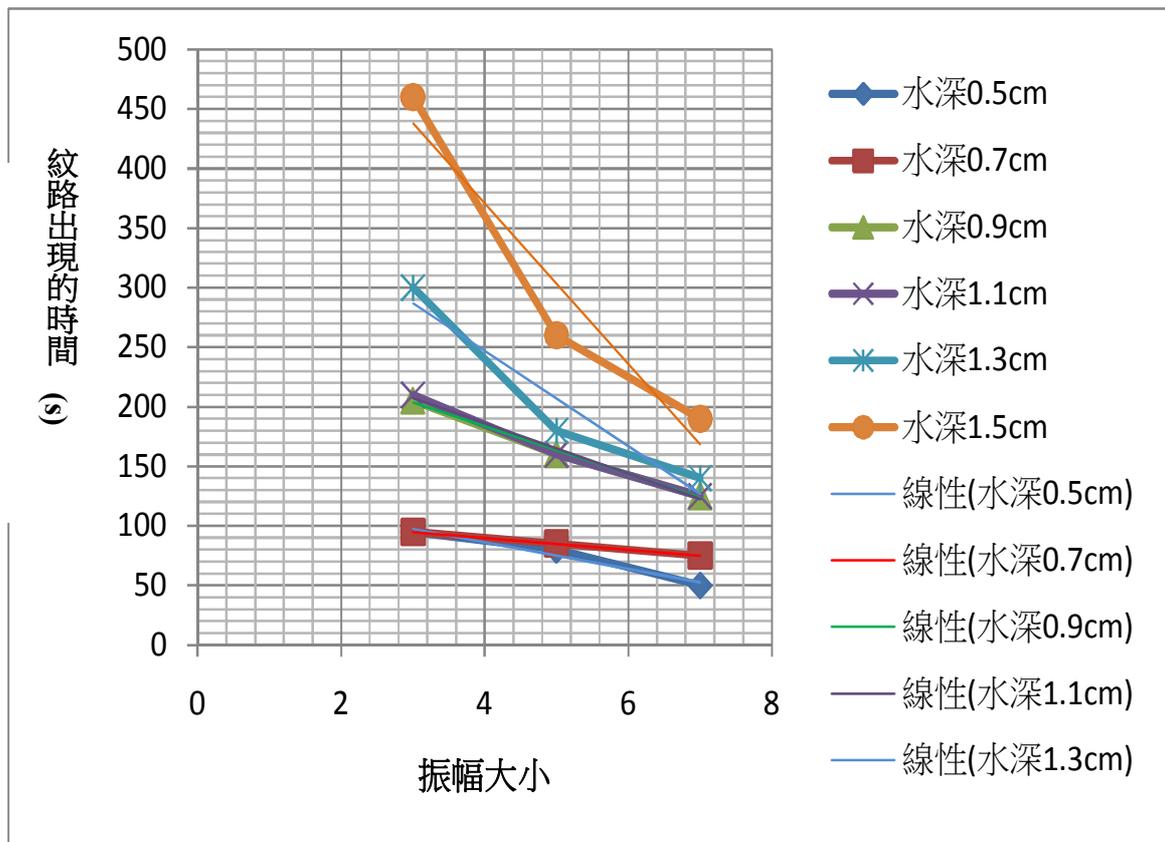
(振幅大小以起波器上所設定之振幅調節刻度為準)

1.水深、振幅與紋路出現時間紀錄表

水深(cm)	0.5cm			0.7cm			0.9cm		
振幅	7	5	3	7	5	3	7	5	3
紋路出現時間(秒)	50	80	95	75	85	95	125	160	205

水深(cm)	1.1cm			1.3cm			1.5cm		
振幅	7	5	3	7	5	3	7	5	3
紋路出現時間(秒)	125	160	210	140	180	300	190	260	460

2.其水波槽底紋路出現的時間隨水的振幅變化關係圖分別如下圖三



圖三

五、在相同振幅下，改變水波槽中水的深度

(一)以木屑作為水底模擬材質，五秒拍一張照片，記錄紋路出現時間。

(振幅大小以起波器上所設定之振幅調節刻度為準)

1.變化三部曲



(起始狀態)



(開始變化)



(出現紋路)

2.起波器上所設定之振幅調節刻度為 7(大)時

水深(公分)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
紋路出現時間(秒)	20	30	100	125	180	220	360	×

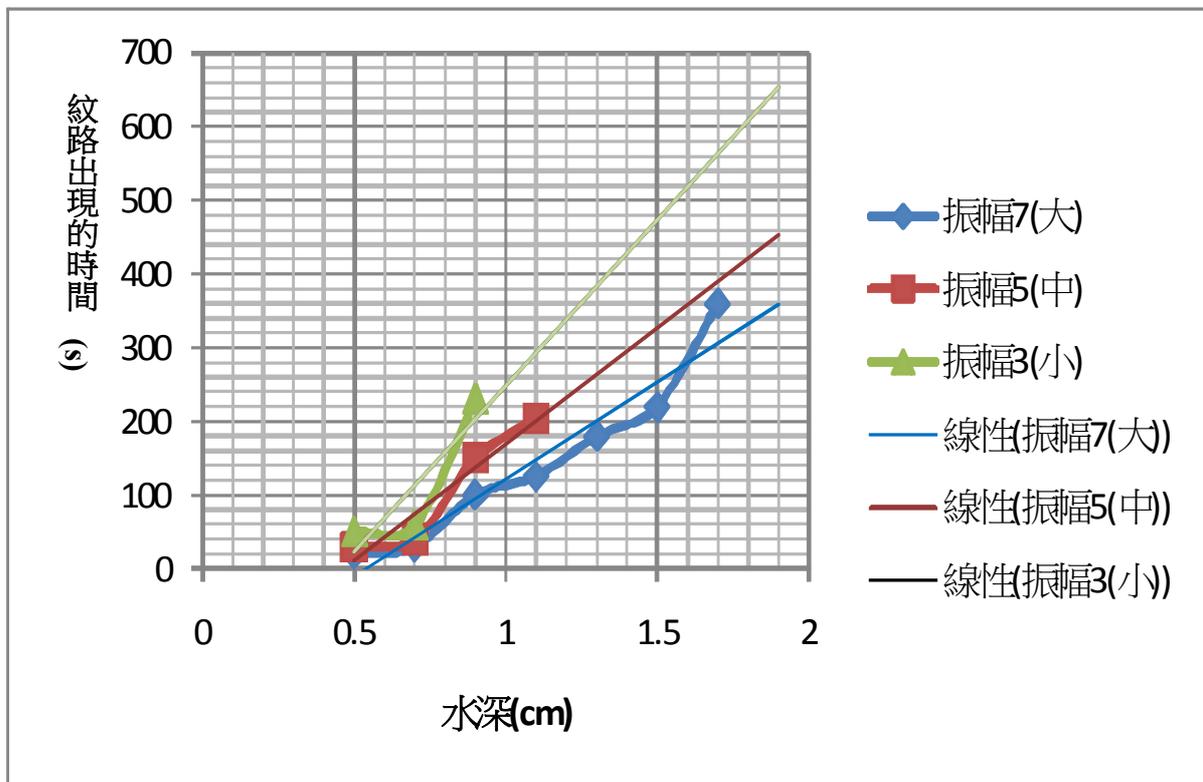
3. 起波器上所設定之振幅調節刻度為 5(中)時

水深(公分)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
紋路出現時間(秒)	30	40	150	204	×	×	×	×

4.起波器上所設定之振幅調節刻度為振幅 3(小)時

水深(公分)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
紋路出現時間(秒)	50	60	230	×	×	×	×	×

5.在起波器上所設定之振幅調節刻度分別為 7、5、3 時，其水波槽底紋路出現的時間隨水的深度變化關係圖分別如下圖四



圖四

(二)以芝麻粉作為水底模擬材質，五秒拍一張照片，記錄紋路出現時間。

(振幅大小以起波器上所設定之振幅調節刻度為準)

1.變化三部曲



(起始狀態)



(開始變化)



(出現紋路)

2.起波器上所設定之振幅調節刻度為 7(大)時

水深(公分)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
紋路出現時間(秒)	50	75	125	125	140	190	×	×

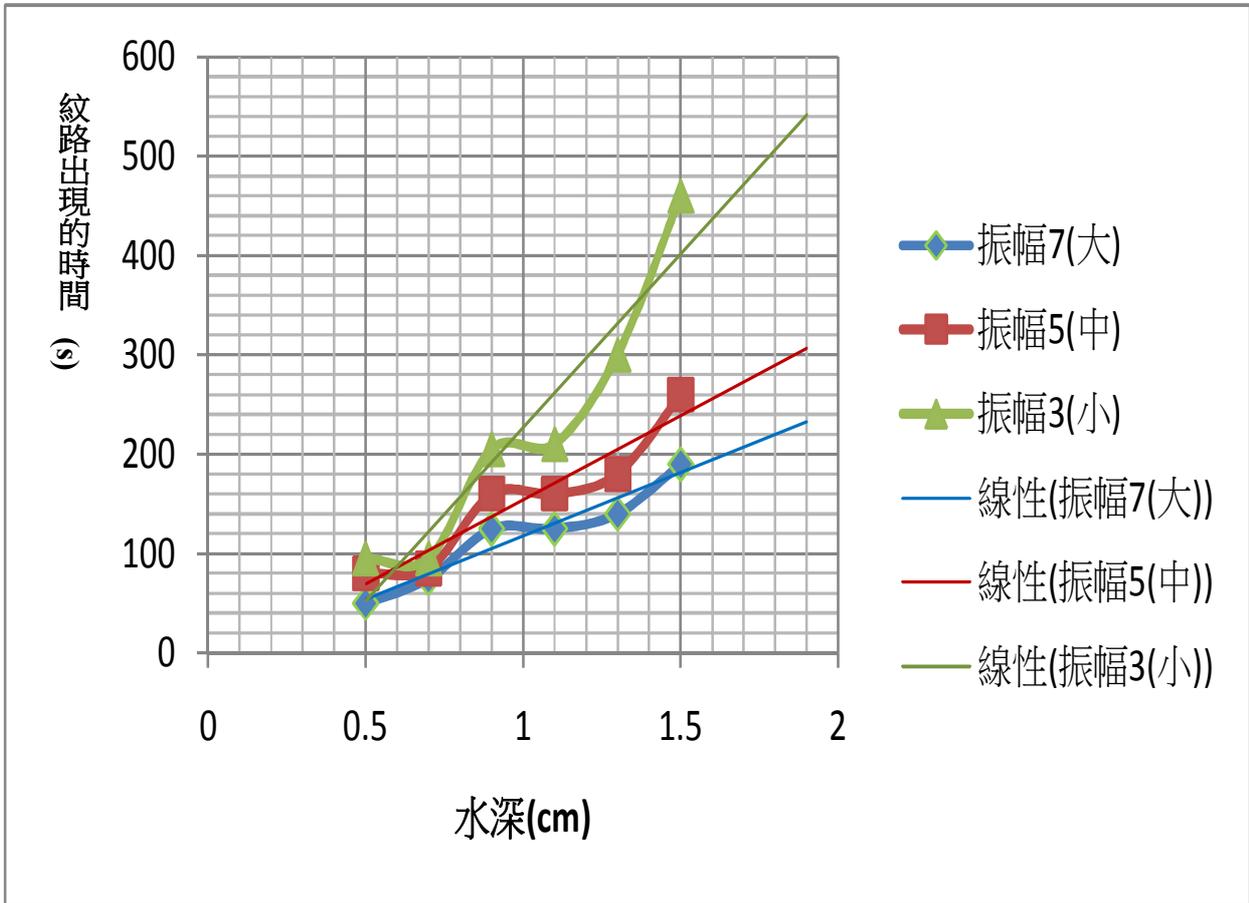
3. 起波器上所設定之振幅調節刻度為 5(中)時

水深(公分)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
紋路出現時間(秒)	80	85	160	160	180	260	×	×

4.起波器上所設定之振幅調節刻度為振幅 3(小)時

水深(公分)	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
紋路出現時間(秒)	95	95	205	210	300	460	×	×

5.在起波器上所設定之振幅調節刻度分別為 7、5、3 下，其水波槽底紋路出現的時間隨水的深度變化關係圖分別如下圖五



圖五

六、以木屑作為水底模擬材質，測得之水波波長及水底紋路間距

表三

水深度(cm)	0.5	1	1.5
測量波長(cm)	2.3	2.5	2.8
水底紋路間距(cm)	1.2	1.3	1.3

頻率： 9 Hz

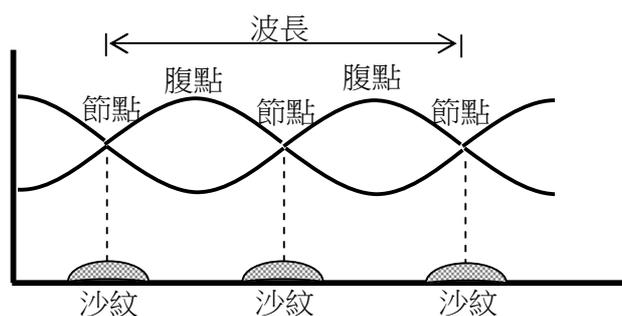
陸、研究討論

- 一、為瞭解水波如何產生，我們上網查詢水波的形成，並與老師討論，得知水面上水分子振動軌跡並非如課本所講的上下直線，而是約呈圓形，而且水面下的水分子會受水面上的水波的影響，亦隨之運動，但影響的範圍會漸變小。於是我們猜測，若水底有沉澱物，就像我們實驗所用的模擬材質，這模擬材質應該會受到水波的影響而於水波槽底部出現沉澱紋路，在經過拍攝下來的照片分析，發現實驗結果確實出現我們所預期之現象。
- 二、在研究一中我們討論到反射板的材質是否會造成水波在起波器和反射板間形成駐波的影響？於是我們以木屑作為水底模擬材質，選擇鋁條、木條、海綿為反射板，進行測試，結果發現因鋁條與木條呈現的結果相同，但因我們在操作實驗時，木條在水槽換水時，容易移位，需每次做位置的調整，且木條表面較粗糙，而鋁條表面較光滑，所以在取捨之間，最後我們決定以鋁條作為反射板。
- 三、研究二中我們使用 4 種密度接近的材質，以比較出其差異，以鋁條作為反射板，一開始我們使用細沙來做實驗，結果因細沙密度較大，起波器的振幅不足以使細沙移位，而油菜籽密度雖比細沙小，但有些會因表面張力關係懸浮在水面上，不易觀察，且實驗結果與細沙同。而後發現細木屑和芝麻粉形成紋路時間較快、效果較佳，也就是水底紋路明顯清楚，於是我們選擇以木屑和芝麻粉作為主要的水底模擬材質。
- 四、水波槽的裝置中，起波器上有設定振幅調節刻度移動鈕，研究三我們選擇採用不同振幅的大小，以探究振幅對水底紋路產生時間影響，由圖二、圖三數據作圖結果發現到，若控制在相同的水深條件下，振幅越大，產生水底紋路所需的時間就越短，不管以芝麻粉或細木屑做為水底模擬材質，結果都一樣。
- 五、在我們做了不同振幅對水底紋路產生時間的影響的實驗發現後，我們想知道水的深度是否也會造成影響，在研究四利用固定振幅，改變水深，進行實驗，將實驗所得的數據作圖，如圖四、圖五。由圖四、圖五所看到的曲線顯現的趨勢，發現在相同的水波振幅之下，水深越深，水底紋路出現所需要的時間越長，因為水面下的水分子是由水面上的水波所帶動，越深的地方水分子的運動越小，所以水底的木屑隨著水的振動而移動所需要的時間就越長，不管是細木屑或芝麻粉，都可以看到這個現象。

(一)細木屑在使用起波器的小振幅 3 時，當加水至水深 1.1 公分以後時，即無法讓木屑形成紋路，可能此時在水底水分子已不能克服木屑與玻璃板的最大靜摩擦力，無法將木屑隨之移動。

(二)雖然在相同振幅和水深下，芝麻粉形成紋路的時間比木屑較久，但在數據中發現芝麻粉在水波振幅較小時，只要時間夠久仍能形成紋路，可能是因為芝麻粉帶有油性，與玻璃板的最大靜摩擦力較小。

六、水波經反射板反射之後，會與入射波形成駐波(在反射板附近較明顯)，如下圖六所示，虛線位置是節點，水分子沒有運動，腹點處的水分子運動較劇烈，會將木屑推移開來，所以節點處應是木屑堆積的地方，如此水的波長應是沙紋間距的兩倍。將研究五的實驗數據整理如下表四，我們發現實驗結果約符合水波波長 λ 約為水底紋路間距 d 的兩倍。



圖六

表四

水深度(cm)	0.5	1	1.5
測得水波波長 λ (cm)	2.3	2.5	2.8
水底紋路間距 d (cm)	1.2	1.3	1.3
λ / d	1.9	1.9	2.1

七、從研究四所得之圖四及圖五中形成的數據曲線觀察到的趨勢，雖然都符合水的深度越大，形成紋路的時間越久，但作出之關係曲線並非斜線，即其變化關係皆略有偏離線性關係。自然課中老師有提到水的深度會影響水波波速，於是我們上網搜尋，找到水波波速的公式，發現水波波速竟然要分成幾種來探討，經與老師討論過後，我們歸納出水波主要應受表面張力和重力的影響，水的深度變化應是重力影響水波波速成分居

多，而在我們查到的資料中，提到水波波速依水深又分兩種，淺水區波速與水深有關，深水區波速與波長有關，所以將研究五的數據與不同水深區水波波速公式計算(附錄表一)，整理出對照表，如表五。

表五

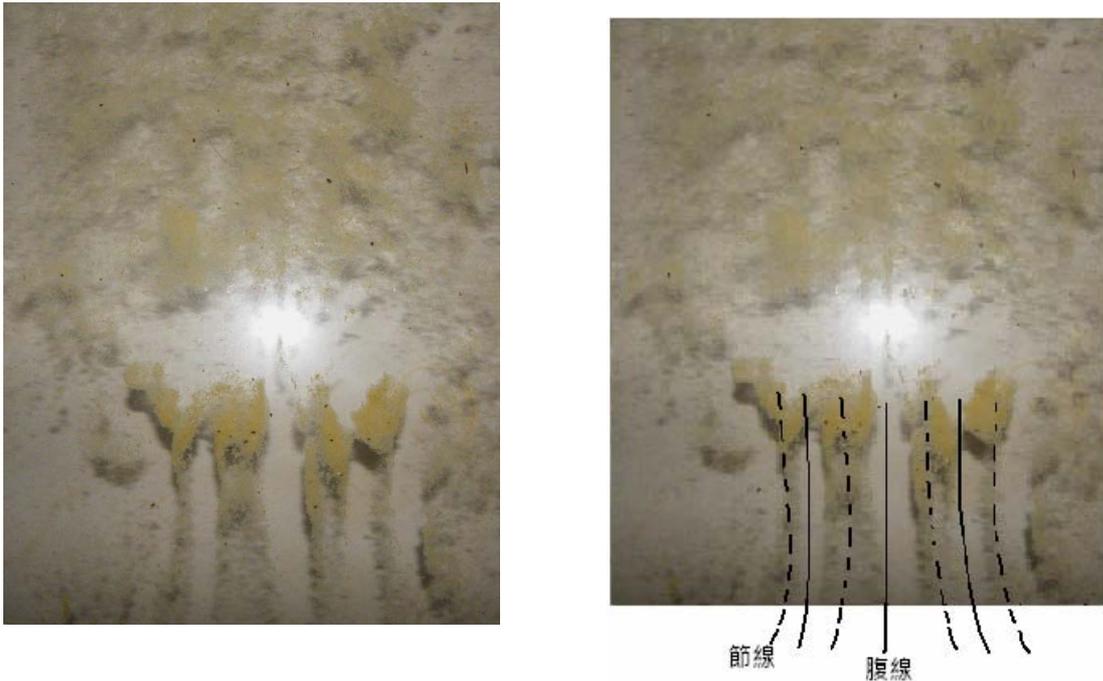
水深度 h (cm)	水波波長 λ (cm)	頻率 (Hz)	波速 = $f \times \lambda$ (cm/s)	淺水波速公式 (cm/s)	深水波速公式 (cm/s)
0.5	2.3	9	20.7	22.1	19.0
1	2.5	9	22.5	31.3	19.8
1.5	2.8	9	25.2	38.3	20.9

由上表發現測得的波速大小，在深水與淺水波速公式所得的數據之間，這可能是因為我們所做的水深恰好在兩種公式的水深條件之間，且波長並非遠大於 2 公分，所以有可能本實驗水波同時受表面張力及重力(深度因素)的影響。

柒、結論

- 一、為了讓水波在起波器和反射板間形成駐波，選用表面光滑平整的鋁條作為反射板，效果較好。
- 二、測量木屑密度時，木屑不能泡水太久，因為會吸水，易造成誤差值過大。
- 三、木屑及芝麻粉的密度與水接近，容易受到水波的帶動而移動位置，適合作本實驗的水底模擬材質。
- 四、由木屑及芝麻粉的實驗結果顯示，水面水波確實對水的沉澱物有所影響，一般的水波槽實驗需要在水槽上方架設亮度夠大的光源，且光源高度也要夠高，才能在地面白紙上投影出清晰的明暗條紋，而且起波器電源關閉之後，明暗條紋隨即消失。本實驗以簡單的木屑(廢物利用)，即可顯現出與明暗條紋相同的效果，況且木屑可重複使用，不但節能環保，條紋也可以關閉起波器再慢慢仔細觀察，不但使水波槽實驗更易於觀察，亦可節省能源。
- 五、起波器振幅越大，水底紋路產生所需的時間越短。
- 六、水的深度越小，水底紋路產生所需的時間越短。

七、從本實驗所拍攝的照片中，依稀可看出節線與腹線形成。



八、木屑或芝麻粉受水面駐波影響，會集中在節線處而形成紋路，且水波波長 λ 為水底紋路間距 d 的兩倍。

九、水波波速會因為水的深度增加而變大。

十、海邊潮間帶水深較大海水的深度淺，而在進退潮時水深更小，海面波浪亦比水波槽中之水波大得多，故潮間帶海底的沙紋應與海浪相關，但是否有其他因素，有待建立大型水波槽及較大的起波器，才能進一步確定其成因。

捌、參考文獻及其他

一、高瀨文志郎、關口直甫(1993)。牛頓科學研習百科物理篇。台北市：牛頓出版。

二、林明瑞(2008)。普通高級中學-選修物理。台北市：南一書局。

三、姚珩(2010)。九年一貫國中自然課本第三冊。台北市：翰林出版。

四、海洋波浪(2000)。海洋學教材。2009年12月12日，

取自 <http://140.112.68.243/chap7/chap7.htm>

五、李偉(2005)。水波之速。2010年1月22日，

取自 <http://forum.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=7045>

六、附表水波波速公式

分類	水深度	影響因素	水波波速公式
淺水區	水深度 $h < \lambda/2$	波速與水深相關	$v \doteq \sqrt{gh} \doteq 3.13 \sqrt{h}$
深水區	水深度 $h > \lambda/2$	波速與波長相關	$v \doteq \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \doteq 1.25 \sqrt{\lambda}$

【評語】 030108

很仔細分析沙紋的形成並提出說明，在定量性的觀察可以再
深入討論，團隊合作佳。