

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

082926

清潔溜溜河底撈—探究河流中攔截塑膠垃圾裝  
置之效能的微型實驗

學校名稱：臺北市中正區國語實驗國民小學

作者：  小六 張允芝  小六 李涵俞  小六 林亭瑜  小六 蕭子熏  小六 吳亞橙  小六 邱奕程	指導老師：  黃慶豐
---	------------------

關鍵詞：河流、攔截、塑膠垃圾

## 摘要

我們關切河流的塑膠垃圾污染問題，發現「水流方向和擾流狀態」是影響河流中攔截塑膠垃圾裝置的重要因素，所以進行微型實驗探究其效能。

我們實地探勘了淡水河下游及其能攔截塑膠垃圾的裝置，依據河流曲流設計微型模擬箱，以觀察水流的樣態。首先我們歸納出：「水平面水流的分流」、「垂直面水流的擾流」、「曲流凹岸河道的回流」，並進一步探究不同的攔截塑膠垃圾裝置與水流的關聯性，例如以攔截索改變水流分流、以水管泡泡製造水流的擾流、利用曲流凹岸河道的回流找出較佳攔截位置等。

河流的實驗模型一般大且昂貴，但我們設計出河流的微型模擬箱，能清楚觀察水流的不同樣態，也能找出攔截塑膠垃圾裝置的較佳效能，據此建議河川管理單位參考。

## 壹、前言

### 一、研究動機

「海洋吸塵器」計劃所屬的海洋潔淨基金會（The Ocean Cleanup）在近年公布全球4萬多條河流污染資料，**臺灣的河流竟然名列最髒河流之列，據該基金會估算，每年約1.47萬公噸塑膠垃圾由河流入大海，相當於每天40公噸。**這讓我們覺得不可置信！我們在河流區域附近上學和生活，竟然不知道我們鄰近的河流製造那麼多塑膠垃圾。無論如何，這引起我們想探究河流中如何有效攔截塑膠垃圾的動機。

在老師的指導下，我們與環保署水利局和河川管理局聯繫，從環保署的「嶠水相惜」網站得知環保署近年大力進行清除河川垃圾計畫，讓我們到河濱公園散步騎腳踏車都覺得河濱是乾淨的。環保署積極推動垃圾清除船、攔截索等攔截垃圾裝置，河川管理局也提供了寶貴的資訊，就是何時有垃圾清除船和近期的清除作業，例如配合龍舟競賽前放置大型攔截索。我們在老師的帶領下去淡水河下游實地勘查後，就有了進行模擬河流的微型實驗並探究攔截索等清除垃圾裝置效能的想法。

### 二、研究目的

- (一)實際勘查河流後，**如何建立河流的「微型實驗」？**
- (二)**如何建構具有水循環功能的「河流模擬箱」，以觀察水流的樣態？**
- (三)探究「攔截索」與水平面水流的關係，以增加塑膠垃圾攔截率。
- (四)探究「水管泡泡」與垂直面水流的的關係，以增加塑膠垃圾攔截率。
- (五)如何利用「曲流凹岸的回流」，以增加塑膠垃圾攔截率？
- (六)如何利用「季節風向和風速」，以增加塑膠垃圾攔截率？

### 三、文獻探討

我們選定淡水河區域探勘，並收集關於淡水河的流速等相關資訊，以及一般河流攔截垃圾裝置的相關資料，包括：

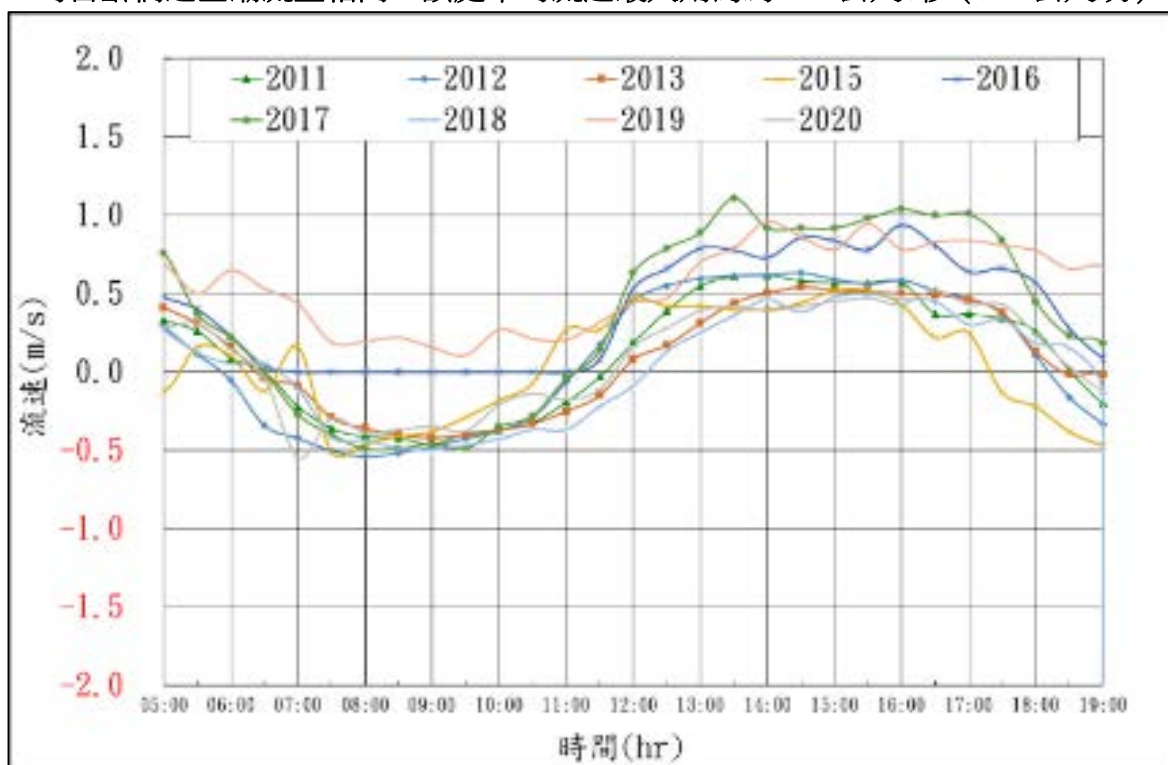
#### (一)淡水河的水域特性：

淡水河匯集了大漢溪、新店溪、基隆河三大支流之水，整體地勢由東南向西北，海拔高度急遽。主流從發源地到出海口長約152公里，整個流域面積廣達2,728平方公里，居台灣河川的第三位。

整個淡水河流域，除了五、六月間的梅雨和夏秋間的颱風雨之外，大漢溪接受較多的夏季西南季風雨水，基隆河和新店溪則接受較多的冬季東北季風雨水。整個流域的年平均面積雨量為2,939毫米，約為全世界陸地平均降雨量的三倍。每年有56.77億立方公尺，或是180立方公尺/秒的平均河川逕流量，這是淡水河流域的最大水資源量。

#### (二)百齡橋樑之流速統計圖：

我們觀測的淡水河下游百齡橋樑，有明顯的曲流，並且我們諮詢了河川管理局，取得近十年百齡橋全潮測量之流速資料，以及該河流之大斷面測量資料。例如定觀測的百齡橋之全潮流量相同，該處平均流速最大則約為0.52公尺/秒(31.2公尺/分)。



圖一、2011~2020年淡水河觀測的百齡橋樑之流速統計圖

(資料來源:經濟部水利署第十河川管理局)

#### (三)流體力學、層流和擾流(紊流)

流體動力學 (Fluid dynamics) 是流體力學的子學科。流體動力學研究的對象是運動中的流體狀態與規律。流體動力學底下的子學科包括有空氣動力學和液體動力學。解決一個典型的流體動力學問題，需要計算流體的多項特性，主要包括速度、壓力、密度、溫度。

層流 (Laminar flow)，為流體的一種流動狀態。當流速很小時，流體分層流動，互不混合，稱為層流，或稱為片流。

亂流（turbulence），也稱為紊流，是流體的一種流動狀態。當流速很小時，流體分層流動，互不混合，稱為層流，或稱為片流；逐漸增加流速，流體的流線開始出現波浪狀的擺動，擺動的頻率及振幅隨流速的增加而增加，此種流況稱為過渡流；當流速增加到很大時，流線不再清楚可辨，流場中有許多小漩渦，稱為亂流，又稱為湍流、擾流或紊流。

#### (四)河流垃圾部分

1.河流垃圾：水體的五大垃圾種類，根據環保署管理系統資訊統計並排除非人造廢棄物，前五名為**垃圾包**、**塑膠瓶**、**動物屍體**、**保麗龍**與**玻璃**。其中**塑膠類**佔河流垃圾重量的30%。

	
<p>環保署統計國內的水體垃圾種類</p>	<p>環保署統計國內水體人造垃圾的排名</p>

2.河流塑膠垃圾的污染：研究指出，80%的垃圾都來自陸地。從城市或鄉村散逸的垃圾隨著河川，從陸地進入海洋，每天不斷在各地重演。國外研究每年約有115至241萬噸的塑膠垃圾從河川進入海洋，而前20%污染最嚴重的河流大部分都位於亞洲，例如長江、湄公河等，幾乎貢獻全球河川垃圾的七成，其中淡水河竟然高居第16名!

	
<p>淡水河綿延不斷的河流出海口垃圾帶</p>	<p>淡水河渡船頭邊的河川垃圾</p>

#### (五)一般河流攔截垃圾的裝置部分

一般河流為了有效攔截垃圾，包括塑膠垃圾等，設有有固定式攔截網、非固定式攔截網、攔截索、攔截柵、垃圾清除船、截流攔截站等裝置。



## 1.河流攔截裝置的造型：

		
<b>垃圾攔截網1：</b> 以固定式攔截網方式，設置於河川兩側於護坡面施作強力扣環，橫跨河川斷面之鋼纜裝設拉勾。	<b>垃圾攔截網2：</b> 以非定點式攔截方式，利用串聯浮球，攔截河面塑膠垃圾及布袋蓮等。	<b>一般攔截柵：</b> 於水體橫斷面設置固定式攔截柵，適用於較狹窄的水體，例如渠道、水排、或溪流。
		
<b>自動式機械攔截柵：</b> 於水體橫斷面設置機械式攔截柵，可透過機械式升降底部平板，撈除所攔截垃圾。	<b>垃圾清除船：</b> 於較大的開放水域，如河川、湖泊，配合工作人員巡檢水體並撈除水體垃圾。	<b>截流站：</b> 主要為攔截水流之水工構造物，於順流面易堆積水體垃圾，作為定點式垃圾攔截站。

資料來源:環保署水相借網站

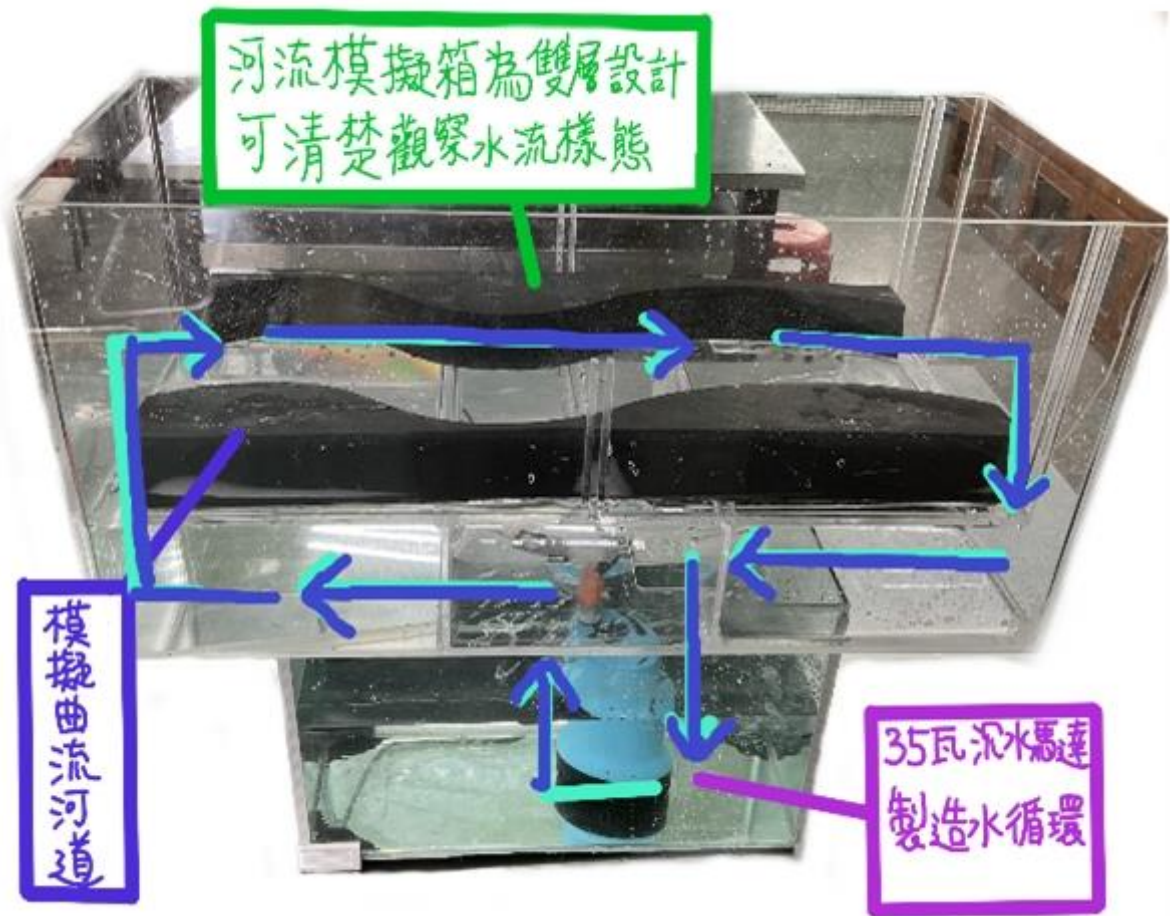
## (六)相關科展研究：

我們借鏡其他相關議題的優秀科展研究，幫助我們探究河流的攔截垃圾情形。

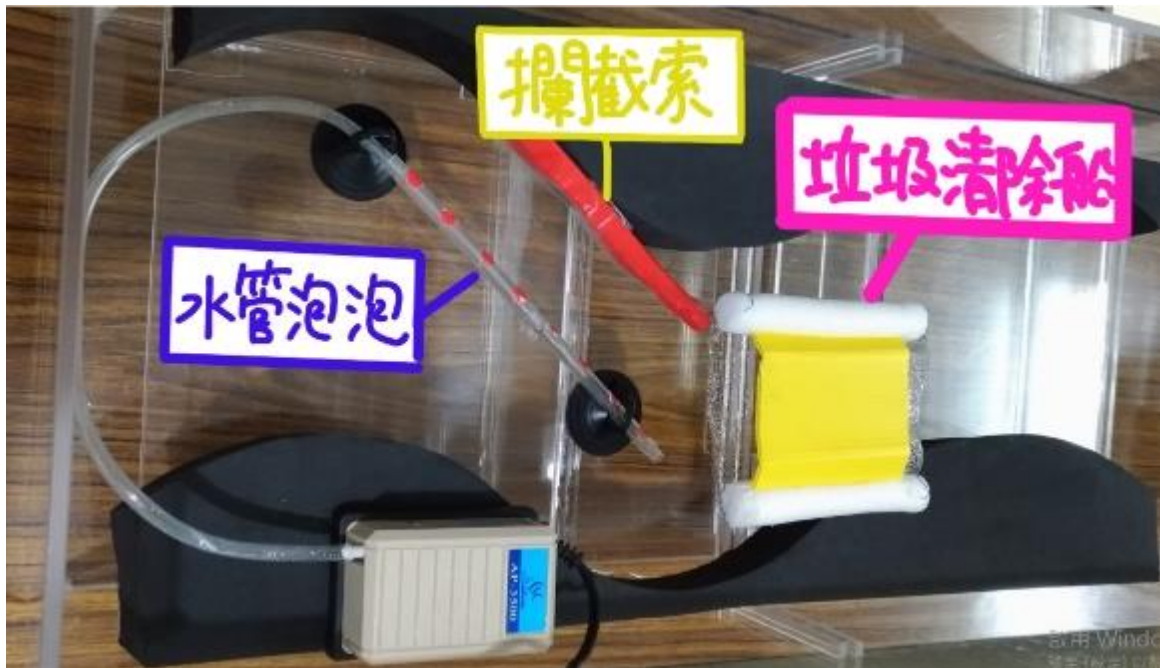
表一、相關科展作品的文獻探討整理

篇名	具體貢獻	優點	缺點	發展性
離家五百哩 - 臺灣海漂垃圾與洋流關係動態模擬之研究	研究洋流對於海漂垃圾的影響	能建立臺灣和周圍島礁的微型實驗	變因解釋關聯性仍有待加強	海洋的洋流與垃圾群的未來趨勢分析
海上的楚河漢界-探討影響漁港使用攔木網效果之研究	減少因漂流木而造成船無法出航	微型實驗能預測如何減少漂流木	無法預警漂流木的數量	能應用攔網研究道到其他水域
海洋垃圾防衛悍將—收集型「海洋垃圾防衛悍將三腳鼎消波塊	以低成本實驗解決海洋垃圾漂到沙灘上的問題	1.耐用，可使用一年之久 2.成本較低	需要用到3D列印模型	可往海洋垃圾清潔發展
「氣室如虹-蘆葦氣室與水流關係」	讓大家知道植物不同生長環境的差異	實地觀察植物在不同環境下的差異	缺少以流體力學實驗模擬及測試	針對於水流湍急的地方，無法研究的更仔細

## 貳、研究設備及器材



圖二、河流的微型模擬箱製造水循環效果(70cm\*30cm\*30cm)



圖三、微型實驗中的攔截塑膠垃圾裝置組合



本研究所使用的設備與器材如下表和對照圖：

編號	器材/材料	尺寸/重量/功率/材質	數量	作用功能
1	保麗龍板	90cm×60cm	1	製作微型垃圾清除船
2	小馬達	3V	2	
3	螺旋槳	直徑 4 公分	2	
4	電池	3 號	10	
5	優塑板	90cm×60cm	6	
6	PVC 塑膠布	90cm×60cm	1	製作及組裝 微型河道 I
7	泡棉棒	直徑 10mm	6	
8	沉水馬達	8w	6	製作及組裝 微型河道 II
9	保麗龍箱	60cm×30cm×30cm	1	
10	鐵製餅乾盒	30cm×30cm×10cm	1	製作及組裝 微型河道 III
11	透明水管	直徑 14mm	1	
12	木板	122cm×40cm×30cm	5	製作及組裝 微型河道 IX
13	沉水馬達	100w	1	
14	透明壓克力箱	70 cm×30cm×30cm	6	製作及組裝 微型河道 IX
15	沉水馬達	35w	1	
16	塑膠儲物箱	60cm×30cm×30cm	1	模擬塑膠垃圾
17	保麗龍球	直徑 1.5cm	100	
18	粗吸管	3cm 長	100	
19	菜瓜布	3cm×3cm	100	
20	塑膠片	3cm×3cm	100	
21	水管泡泡硬管	8 孔，20cm	2	水管泡泡裝置
22	水管泡泡硬管	屏幕式，20cm	2	
23	空氣幫浦	2.5W	2	觀測水流樣態
24	塑膠菱格網	30cm×30cm	2	
25	小鴨鴨	塑膠	6	
26	乒乓球	塑膠	7	
27	透明投影片	塑膠合成	50	
28	描圖紙	紙	50	觀測水流樣態
29	S 型河道	泡棉	2	
30	手持風扇	三段速	1	



表二、模擬箱實驗設備和器材說明

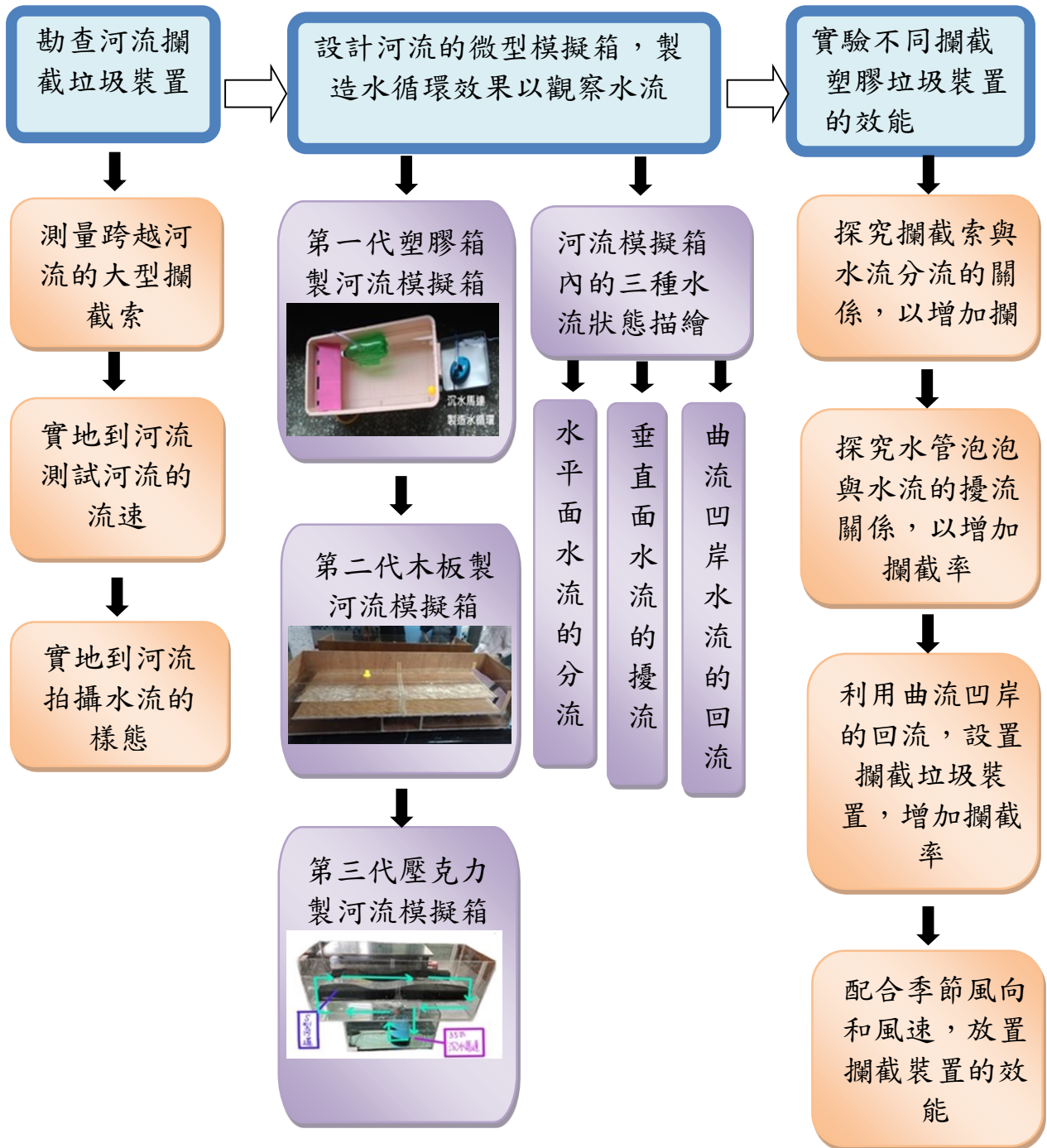
圖四、模擬箱實驗設備和器材對照

測量速度儀器			
名稱	圖片	名稱	圖片
浮球		電腦散熱風扇	
尼龍線		轉速雷射儀	
標旗		水底攝影機	
碼表		皮尺	

圖五、河流測速實驗設備和器材對照

# 參、研究過程和方法

## 一、研究架構



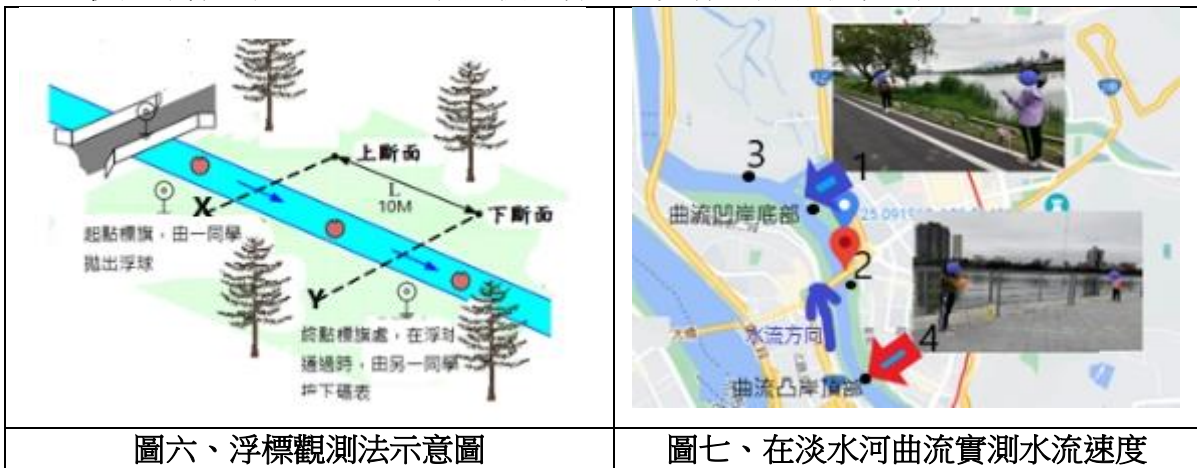


## 二、研究過程與方法

### (一)「浮標法」測量河流的水速

表面流速量測分析可分為三種，包含浮標法、微波雷達量測法及影像辨識分析法。我們進行河流實地勘察使用簡易的浮標法。浮標法就是使用漂浮物測定流速的方法，為粗略量測流速的檢測方法。浮標法示意如圖六所示，其方法為先設定一定距離(L)之上下游斷面，再取一可漂浮於水面上並容易辨別的漂浮物，於此區上游放流，記錄漂浮物由上游流至下游所需時間(t)，以計算流速( $V = L/t$ )，並重複數次取平均值。我們採取浮標法並簡化測量步驟如下：

- 1.在選定的河岸上選定兩點，相距 10m 放置起點標旗和終點標旗。此兩點連線之距離為 L。
- 2.由起點標旗處 X 由一同學將浮球綁住尼龍線，作為浮標投下，記錄投下的時間做為觀測開始的時間。
- 3.當浮標通過上斷面線時，終點標旗處 Y 處之同學立即按下碼錶，浮標通過下斷面線時測定其流經的時間，收起浮球，並記錄之。
- 4.使用浮標法施測，測量 5次反覆進行上述步驟，再求取平均值。



圖六、浮標觀測法示意圖

圖七、在淡水河曲流實測水流速度

表三 淡水河在百齡橋附近水流速度紀錄\_距離:10m

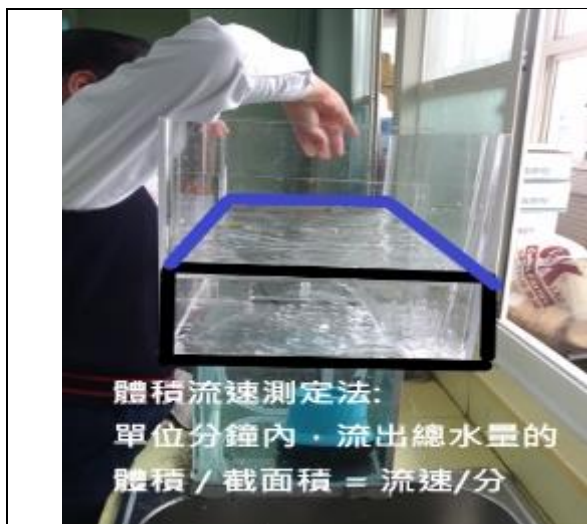
時間(秒) 位置	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均時間 (秒)	平均速度 (公尺/分)
1.凹岸底部	152	154	155	149	151	152.2	3.9
2.凹岸向岸邊45度	77	76	78	80	79	78	7.7
3.凹岸向河流45度	76	75	78	75	76	76	7.9
4.凸岸頂部	30	31	28	29	28	29.2	20.5

計算流速( $V = L/t$ )，例如在凹岸測得水流平均速度:  $(10 / 152.2) * 60 = 3.9$ 公尺/分，在凸岸測得水流皮平均速度:  $(10 / 29.2) * 60 = 20.5$ 公尺/分

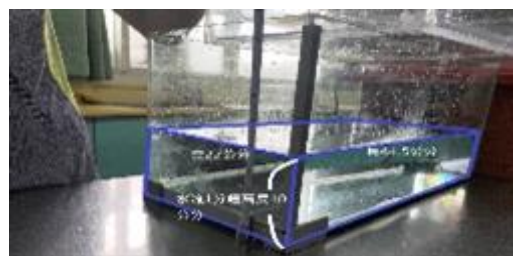
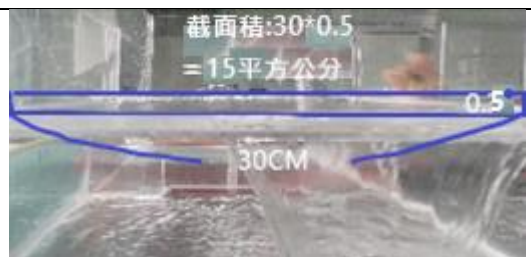


(二)「體積法」測微型模擬箱內的流速

體積流量定義為每單位時間通過流體流動體（例如管道，通道，河道等）的流體量。在小規模流量中，立方厘米/分鐘也用作體積流量的單位。如果我們看到體積流量單位，則為立方公尺/秒(m<sup>3</sup>/s)，速度單位為公尺/秒(m/s)。因此，**如果我們要將體積流量轉換為速度，將體積流量除以流體從中流出的橫截面積。**體積流量單位為立方公尺/秒(m<sup>3</sup>/s)，面積單位為平方公尺(m<sup>2</sup>)，**速度單位= (m<sup>3</sup> / s) / m<sup>2</sup> = m / s**。



圖七、體積流速測定法



圖八、模擬箱內的的水流速度

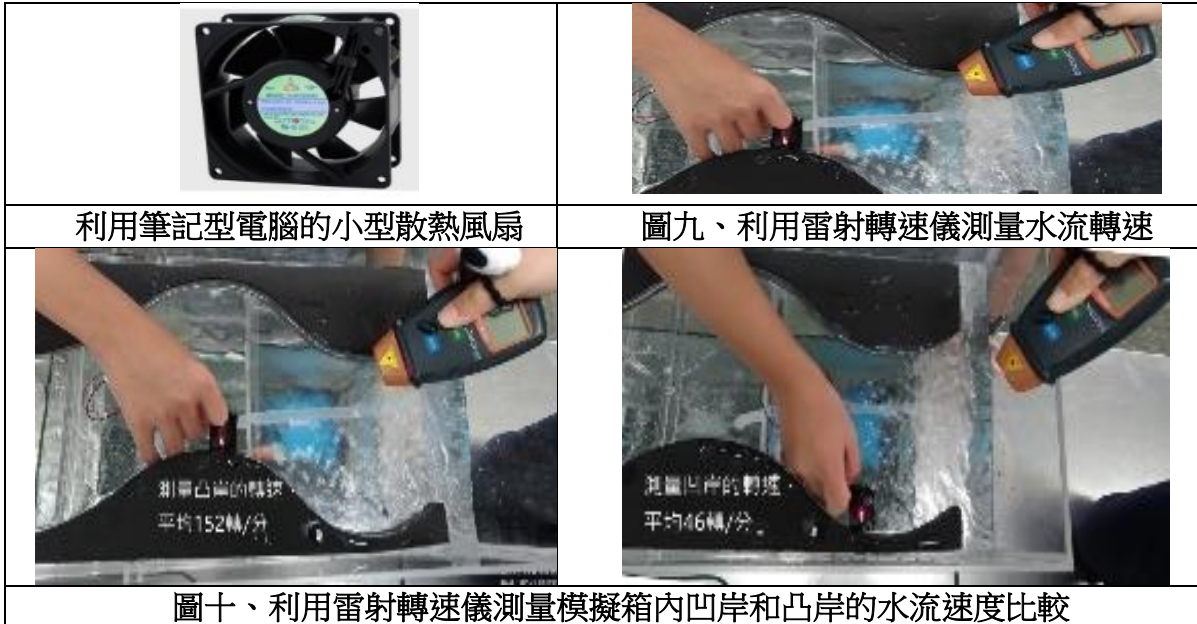
我們用以上體積法測量較小的模擬箱內的水流速度，以35W 馬達為動力運轉，使水從出水口流入下方的水族箱，測量一分鐘後的流量體積(長45公分 \* 寬 22公分 \* 高10公分 = 9900立方公分)，除以模擬箱水流斷面的截面積(寬30\*高0.5公分 = 15平方公分)，得到模擬箱水速度為 6.6公尺/分)



(三)「轉速法」測微型模擬箱內的流速差

河流的微型模擬箱長度太短，我們只用上上述體積流速法測量平均水速，但是在微型模擬箱內的曲流河道則無法用體積測定法。

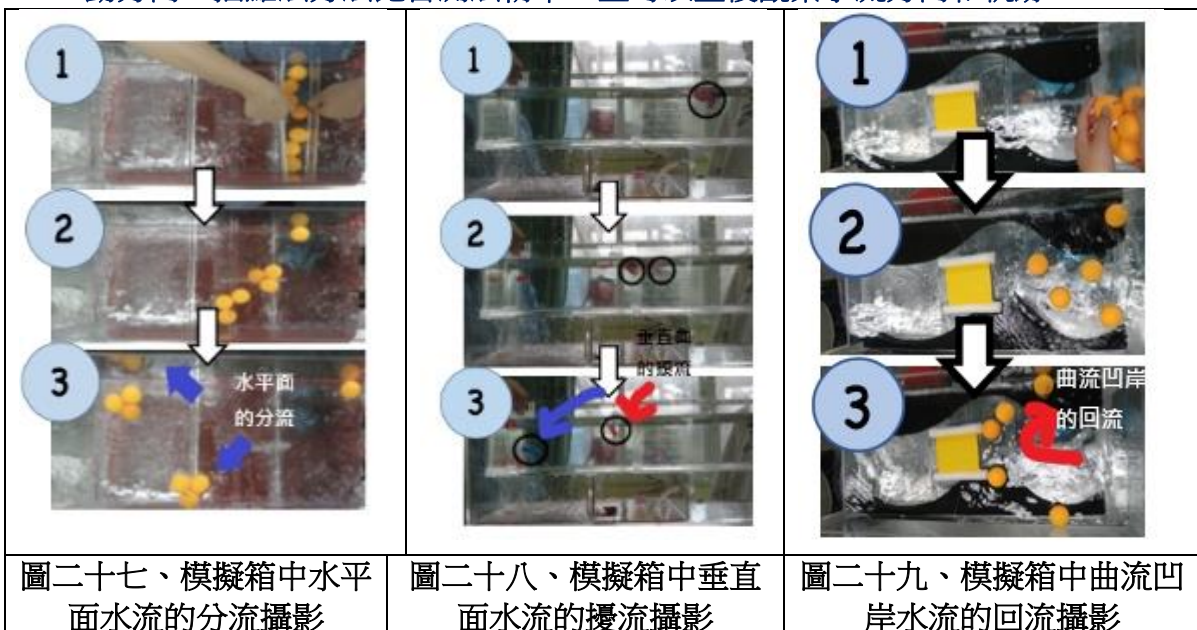
我們利用筆記電腦的小型散熱風扇，以雷射轉速儀測量特定位置水流每分鐘的轉速。轉速越快，水流速度也愈快；轉速越慢，水流速度也愈慢。「轉速法」主要以凹岸和凸岸的轉速差比較實際河流的凹岸和凸岸速度差。假設測量速度差越接近，據此建立模擬箱內的曲流河道模型。



雷射轉速儀測曲流凹岸水流轉速平均46轉對比凸岸的水流轉速平均152轉約為1/3，而淡水河下游在百齡橋附近水域的凹岸對比凸岸的水流平均速度約為1/5倍。同樣結果為凹岸水流速度較慢，凸岸水流速度較快。

(四)「描點法」記錄微型模擬箱的水流軌跡

操作步驟：(1)用乒乓球、塑膠吸管做水流觀察。(2)用攝影機拍攝乒乓球、塑膠吸管的流動方向。(3)用電腦慢速回放水流影片，將投影片放在電腦螢幕上描點。(4)將投影片再畫在方格紙上，連結起點和終點來繪製圖形，以此描繪出水流的流動方向。描點法方法比目測法精準，且可以重複觀察水流方向和軌跡。





## 肆、研究結果

### 一、觀察河流後，進行模擬河流的微型實驗設計

#### (一)實地勘察淡水河下游的特定區域:

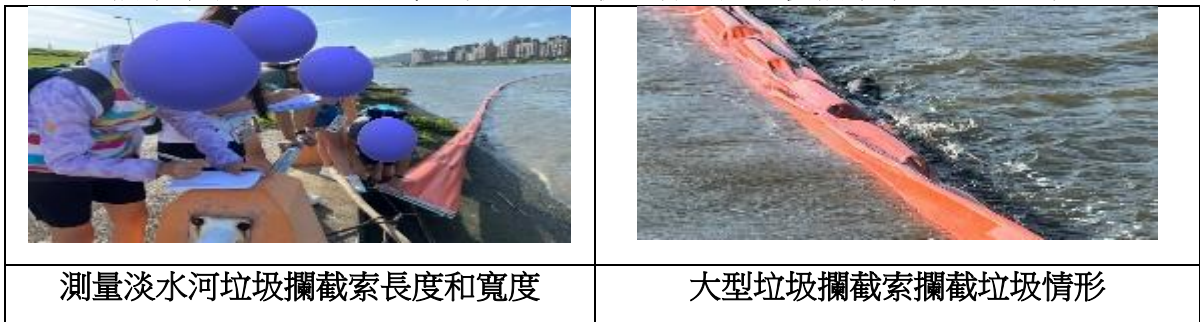
我們先和環保署和河川管理局聯繫，了解當地河流有那些攔截垃圾的設施。經河川管理局的科員熱心介紹，我們先在環保署「嶼水相惜」網站了解環保署在近年做許多河流淨水的推廣和努力。然後河川管理局也提供了寶貴的資訊，就是何時有垃圾清除船和近期的清除作業，這次配合龍舟競賽前有放置大型的攔截索攔截垃圾。我們在老師的帶領下，就在周末一起去淡水河探勘並觀察河流的塑膠垃圾情況。



圖十一、勘查實際淡水河的攔截索和垃圾清除船位置

#### (二)探勘地點一：淡水河的直流區域

110年10月9日(六)下午我們前往淡水河的直流區域，主要勘查放置的兩條大型垃圾攔截索，還有在河流的曲流位置有垃圾清除船。我們到河畔就看見岸邊許多漂浮的垃圾，然後步行往上游約1.5公里處，發現第一條橘色大型垃圾攔截索，攔截索兩側使用鋼索固定於河流的邊岸上，攔截索在河面呈現U型。測量攔截索總長度約180公尺。攔截索表面為厚塑膠布，內容有固狀泡棉填充，使攔截索可漂浮於水面上。



#### (三)探勘地點二：河畔的垃圾包集中區

我們反方向往下游走了將近3公里，才發現第二條橘色大型垃圾攔截索，攔截索內的樹枝、塑膠、玻璃瓶等垃圾明顯減少。河畔的工地圍籬內，隱約可以看到簡易碼頭，碼頭邊有兩艘一般撈除作業的平底船，旁邊有一處垃圾包集中區。兩艘平底船是方便靠近攔截索中央區，工作人員再以網子打撈的方式清除已經攔截的垃圾，然後收回岸上。岸上有垃圾包集中區，裡面大約已有10~15包大型垃圾包。

#### (四)探勘地點三：淡水河的曲流區域

我們鏗而不捨的再往下游走1公里，終於找到一艘河流垃圾清除船，就停靠於曲流河道旁。該艘垃圾清除船當天未運作，但可觀察到它的船體設計，是立體船的造型，中間部分使用寬大的履帶由水下往水上轉動，因為履帶上可見殘留部份垃圾。



圍籬內岸上的垃圾包集中區



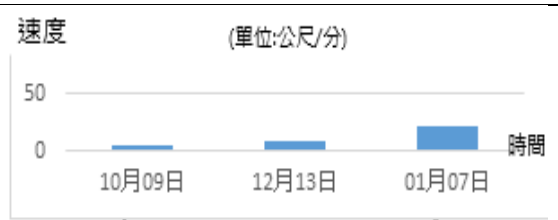
曲流河道旁的垃圾清除船

(五) 淡水河下游區域百齡橋附近的流速測量：

110年10月9日、12月13日和111年1月7日，我們再到淡水河下游同一地點測量水流速度。我們利用簡易「浮標法」將綁繩子的浮球丟入河流中，計算水中垃圾漂流一分鐘的距離，測量5次求平均。10月9日為晴天，水流速度平均 5.0 公尺/分。12月3日流速為平均 8.2 公尺/分。1月7日當日豪雨，水流加上東北季風的速度更快，流速增加為 20.9 公尺/分。依上述不同時間的勘查和實測，發現水流速度因雨天水量較大影響外，風的方向和其強度也會影響水流速度。

日期	次數	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排名
10/9		5.2	4.3	5.1	5.0	5.4	5.0	3
12/13		8.7	7.4	8.2	8.6	8.1	8.2	2
1/7		21.6	20.8	19.5	22.4	20.2	20.9	1

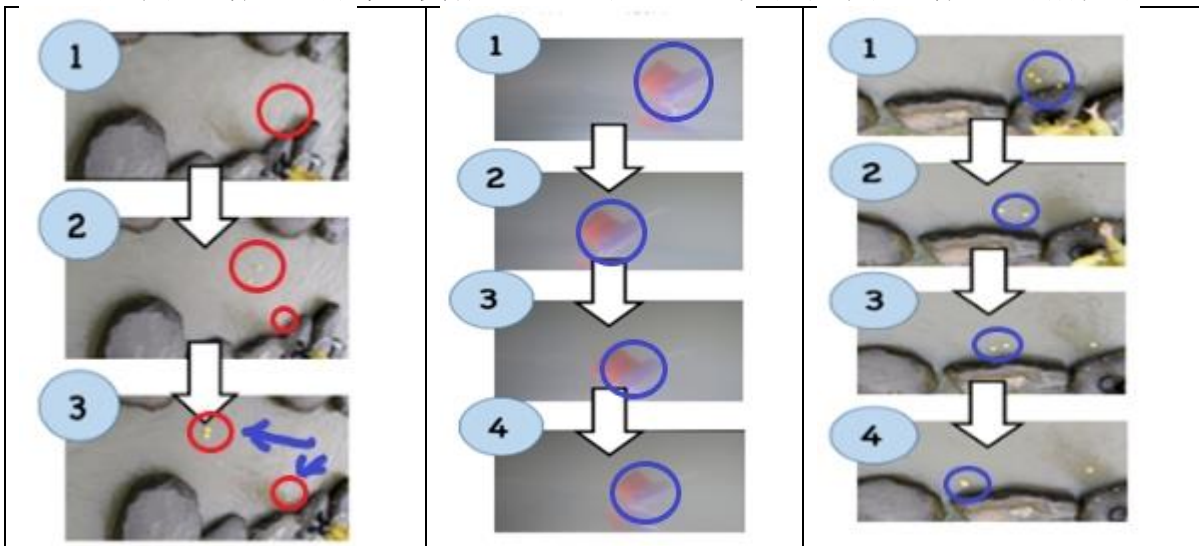
表四、淡水河水流速度實測比較(單位:公尺)



圖十二、淡水河水流速度實測比較

(六) 淡水河的水流樣態攝影與觀察:

我們幾次到淡水河實地探勘，發現水流速度隨時間不同外，水流的流動樣態也有不同。我們將乒乓球、吸管丟入水裡，實驗候用網子隨即撈起，主要是幫助攝影記錄水流的樣態，好帶回實驗室細部研究，進一步發現水流的樣態也有所不同。



圖十三、淡水河實地攝影並觀察水流有分流、擾流和回流現象

二、建立河流的微型模擬實驗，並有水循環的功能

(一) 試作河流的微型模擬箱

1. 根據河流實際探勘河流的攔截裝置後，我們討論如何在實驗室裡河流的微型模擬箱實驗，首先使用較容易裁切和黏合的優塑膠板，來進行實驗初探。



- 2.製作流程：(1)利用優塑板容易剪裁的特性，黏貼製作成70x30x30cm 的微型河道。  
(2)裝水測試大約8公分高度。(3)置放一個35w 的沉水馬達製造水流。
- 3.分析：測試時開始中間接合處會滲水，因為優塑板的材質內為中空管狀，本身表面有波浪狀不是非常平整，膠帶無法完整密合，所以黏貼後有部分的水會沿著中空管繼續流入，所以只好放棄優塑膠板製作。

	
用優塑板黏接成微型河道	我們一起合作放置微型攔截索

### (二) 設計並製作河流的微型模擬箱 I

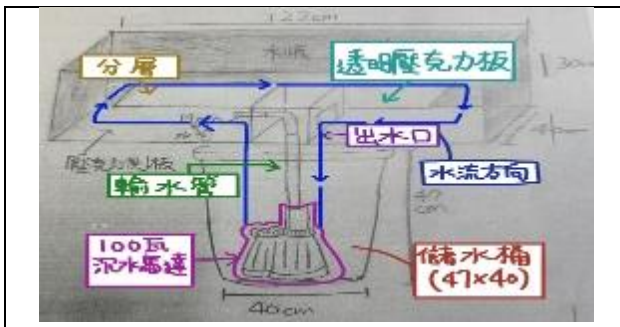
- 1.我們改利用現成的「塑膠箱」製成河流的微型模擬箱，並以一顆35w 馬達製造水循環系統，然後在箱體試水流的流速和不同寬度的攔截索。
- 2.製作流程：(1) 使用現成取得的塑膠箱，長70cm x 寬30cm x 高30cm。(2)將塑膠箱的一側挖出5個直徑2公分的圓洞，當作排水口。(3)固定一顆35w 的沉水馬達，製造水流循環。(4)在箱體下方放置另一儲水桶。(5)開啟開關，使水能從下方儲水桶再打到模擬箱中製造水循環。
- 3.)優點：利用塑膠箱體製造河流微型模擬箱，不會透水而且很好玩。缺點：塑膠箱體較輕，較易滑動;水流量不穩定，會造成水流回流的現象。

 <p>沉水馬達 製造水循環</p>	
圖十四、河流的微型模擬箱 I	在河流微型模擬箱 I 攔截塑膠垃圾

### (三) 設計並製作河流的微型模擬箱 II

- 1.改進前面設計的缺點，用木板製成河流的微型模擬箱 II，並以更高速的沉水馬達製造水循環，以接近河流真實水流速度，以實驗攔截索不同寬度的效能。
- 2.製作流程：(1)微型模擬箱 II 的尺寸：長70cm x 寬30cm x 高30cm。(2)將木板箱內上層放置一木板以模擬河流的河道。(2)下層挖出1個直徑14mm 圓洞可以接強力馬達的水管。(3)另一邊有排水口可以排水提供水循環的水流。(4)使用35w 的馬達製造造水循環的水流。(5)在箱體下方放置塑膠儲水桶。(6)打開開關，讓水流循環。
- 3.優點:木製箱體較重，不易滑動水流量穩定；側邊採透明壓克力板，可以觀察水流動和塑膠垃圾浮動的現象。





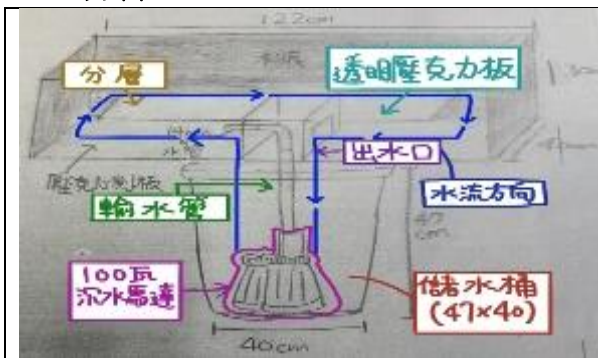
圖十五、河流的微型模擬箱設計圖



圖十六、河流的微型模擬箱 II

#### (四)河流的微型模擬箱 III 製作與實驗

1. 模擬河流製成河流的微型模擬箱 III (70\*30\*30cm)，並以35w 馬達製造水循環，以接近河流真實的水流速度。然後觀察表面水流的狀態和側面水流擾動的狀態進行分析。



圖十五、河流的微型模擬箱設計圖



圖十七、河流的微型模擬箱 III

#### 2. 製作流程：

- 依據木板製河流的微型模擬箱的原型，再訂製全壓克力製河流的微型模擬箱IV(70 x30 x30cm)。
- (1)將壓克力板箱內上層放置一壓克力板以模擬河流的河道。(2)下層分別挖出1個直徑12mm 圓洞可以接35w 馬達的水管。(3)另一側有排水孔使水流循環。(4)在箱體下方放置塑膠儲水箱。(5)使用35w 的馬達製造水循環的水流。(6)打開開關，水就會一直循環流動。透明壓克力製箱體河流的微型模擬箱有水循環功能，成功!YA!

3. 優點：透明壓克力箱體完全不滲漏；水流量穩定，方便測量水流流速和方向；側邊都是透明壓克力板，可以觀察水流擾動和垃圾浮沉的現象。



壓克力板製成微型模擬箱 III 方便觀察

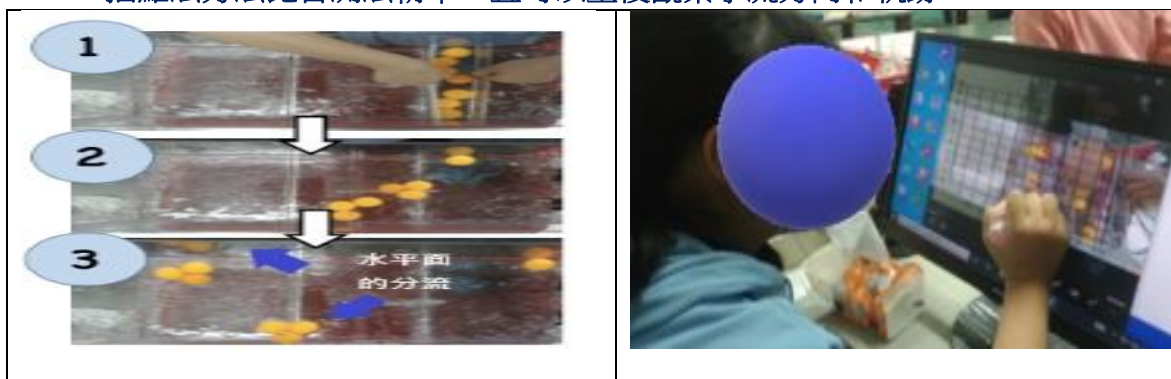


在壓克力製微型模擬箱 III 放置攔截索

### 三、實測透明壓克力力的微型模擬箱Ⅲ的水流狀態

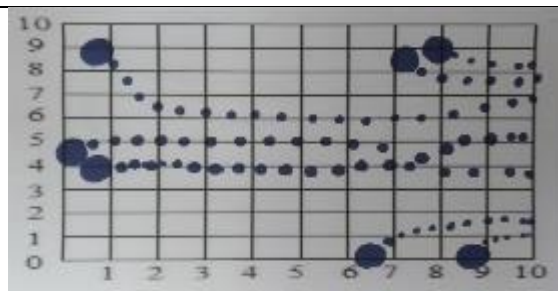
#### (一)壓克力箱河流的微型模擬箱的水流

1. 將乒乓球別丟入壓克力製河流微型微型模擬箱Ⅲ內，發現這些模擬塑膠漂流物方向不一致，例如水流有回流的現象。
2. 操作步驟：(1)用乒乓球做表面水流觀察。(2)用攝影機拍攝乒乓球的流動方向。(3)用電腦慢速回放水流影片，將投影片放在電腦螢幕上描點。(4)將投影片再畫在方格紙上，連結起點和終點來繪製圖形，以此描繪出水流的流動方向。描點法方法比目測法精準，且可以重複觀察水流方向和軌跡。

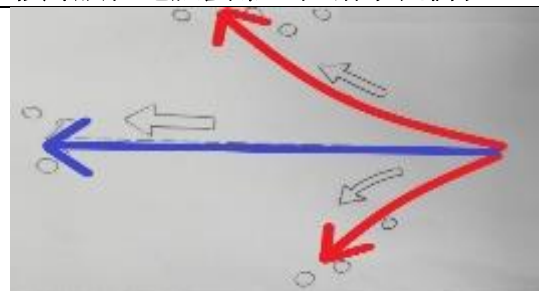


壓克力箱中投入乒乓球做表面水流觀察

圖十九、用電腦回放水流影片，將投影片放在電腦螢幕上描繪水流情況



圖二十、壓克力河流微型模擬箱中，水平面表面水流的投影片繪圖



圖二十一、壓克力河流微型模擬箱中，水平面表面水流流向示意圖

#### (二)壓克力箱河流的微型模擬箱的水流擾動現象

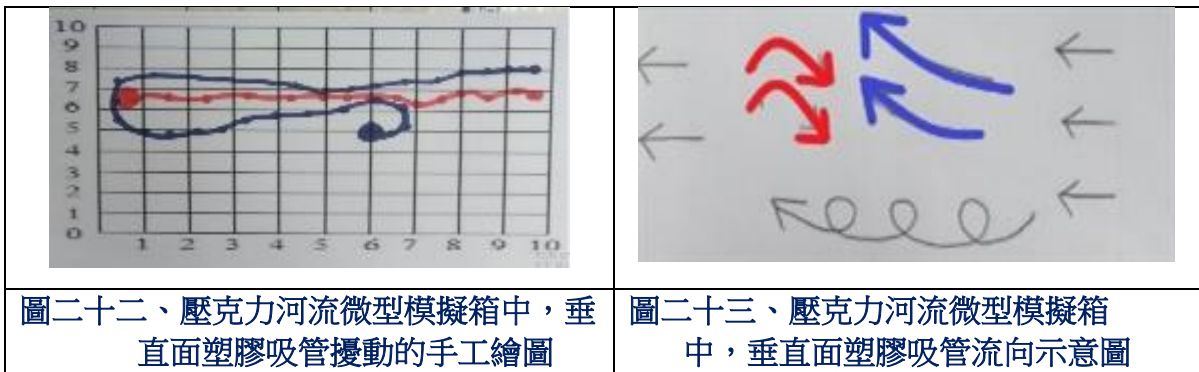
- 實驗步驟：(1)用紅色和藍色塑膠吸管做水流觀察。(2)用攝影機拍攝塑膠吸管的流動方向。(3)用電腦慢速回放水流影片，將投影片放在電腦螢幕上描點。(4)將投影片再畫在方格紙上，連結起點和終點來繪製圖形，以此描繪出水流的流動方向。描點法方法比目測法精準，且可以重複觀察水流方向和軌跡。



在壓克力力的河流的微型模擬箱，測試吸管的擾動情形

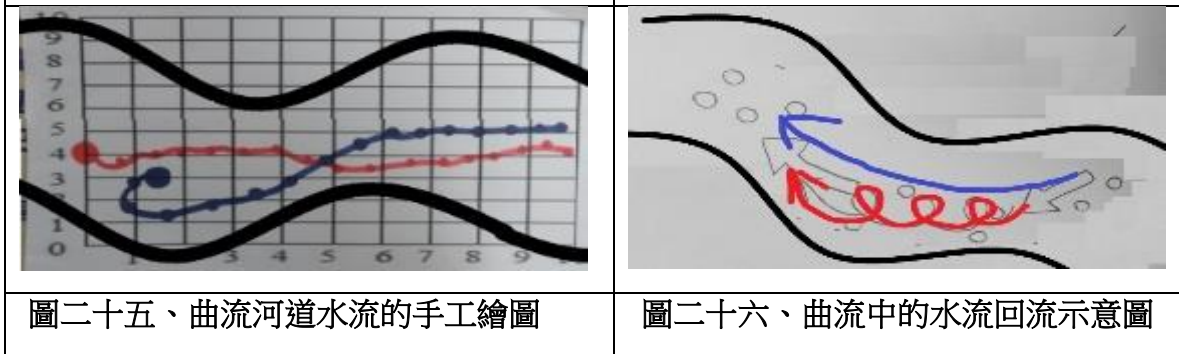
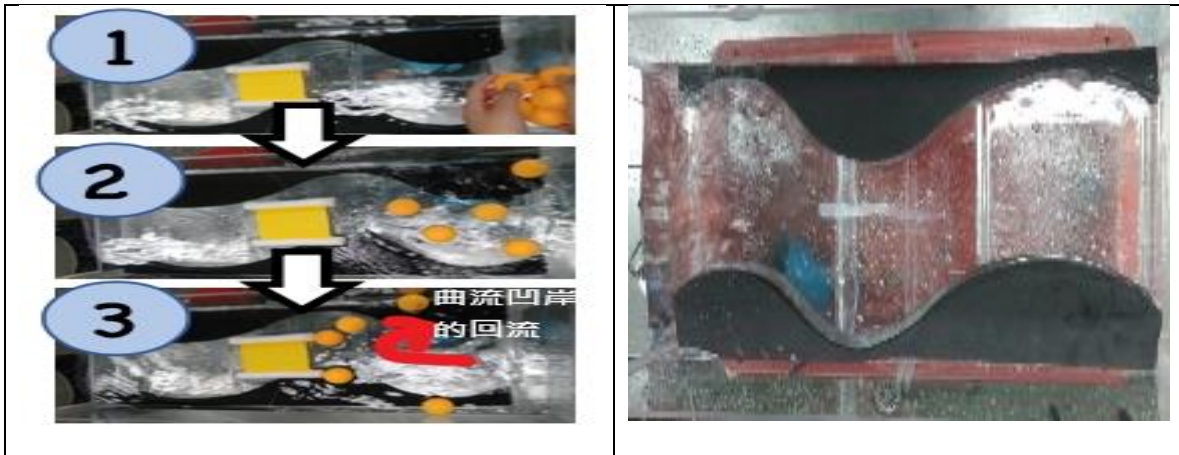
在壓克力力的河流的微型模擬箱，重複觀察水流擾動的情形





(三)壓克力河流微型模擬箱內模擬曲流河道的水流樣態

實驗步驟：(1)將曲流河道黏在壓克力箱體的底部，製造出不同的水流樣態。(2)用乒乓球做水流觀察。(3)用攝影機拍攝乒乓球的流動方向。(4)用電腦慢速回放水流影片，將投影片放在電腦螢幕上描點。(5)將投影片再畫在方格紙上，連結起點和終點來繪製圖形，以此描繪出水流的流動方向。描點法方法比目測法精準，且可以重複觀察水流方向和軌跡。



四、探究「攔截索」與水平面水流的關係，以增加塑膠垃圾攔截率。

(一)製作微型攔截索

樣式：U型。尺寸：長120公分 x 寬0.6公分，基本上仿製探勘的攔擊索的材質，製作微型攔擊索。(1)初始版：起初討論用雨衣來做外層包覆的材料，裡面包覆泡棉棒，另切割成直徑0.3公分的長條狀。外層使用雨衣剪裁成長120公分 x 寬0.6公分，但裁剪後發現雨衣的表布會散開，不易製作。(2)改進版：經討論後外層包覆材質改用接近基隆河道上的攔擊索的紅色 PVC 塑膠布，剪裁後將泡棉棒用防水雙面膠將其包覆在裡面，兩側加入釣魚線以利可以固定在水池邊。





初始版：雨衣材質，邊緣的線會散開



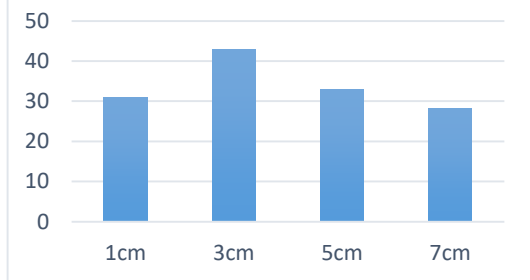
改進版：塑膠布材質較佳，邊緣密實

(二) 微型攔截索不同寬度的實驗

操作微型攔擊索不同的寬度，能攔截的保麗龍球數量。

1. 實驗步驟: (1)將攔擊索固定於河流模擬箱兩側。(2)在河道模擬箱Ⅲ裝設35w 沉水馬達，製造水循環。(3)將直徑1.5公分的保麗龍球\*100顆放入河流模擬箱內。(4)用碼表計時1分鐘。(5)測試5次平均能攔截保麗龍球的數量。

項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	標準
1cm	30	21	35	29	32	31.0	3
3cm	40	45	45	45	45	42.8	1
5cm	35	34	37	27	35	33.0	2
7cm	22	20	28	25	20	23.2	4



表五、不同寬度攔截索攔截保麗龍球數量

圖三十、不同寬度攔截索的攔截率比較

(三) 製作微型垃圾清除船

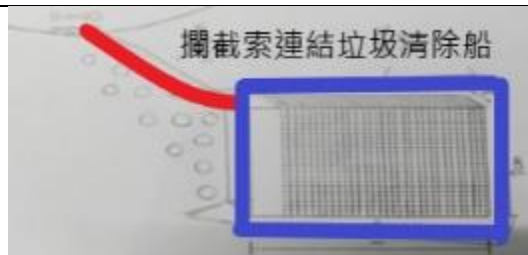
我們參考在河流中撈除作業的河流垃圾清除船，加以簡化。因為在實驗中，我們考慮的是水流的流動因素，而不是去設計一個機械化的垃圾清除船。



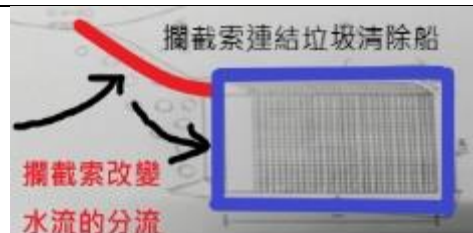
河流的一般垃圾清除船



製作微型攔截索連結垃圾清除船



攔截索連結垃圾清除船設計圖



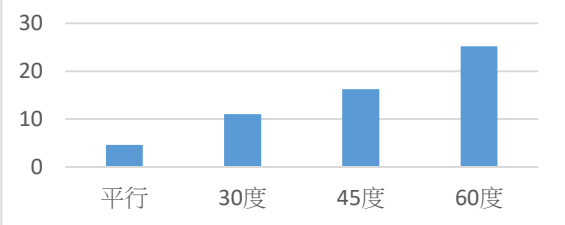


圖三十一、單側攔截索改變水流的分流方向，使塑膠垃圾流向船體



(四) 連結攔截索與垃圾清除船

實驗中將攔截索連結垃圾清除船的攔截索分別與河岸平行、與河岸成30度、45度、60度能攔截的保麗龍球數量。因為河流會分流向兩側，且中間水流流速較快，兩側水流流速較慢，所以河道中的兩側較容易堆積，因此我們採取攔截索連結垃圾清除船的方式，來加強攔截河流側邊堆積的塑膠垃圾數量。

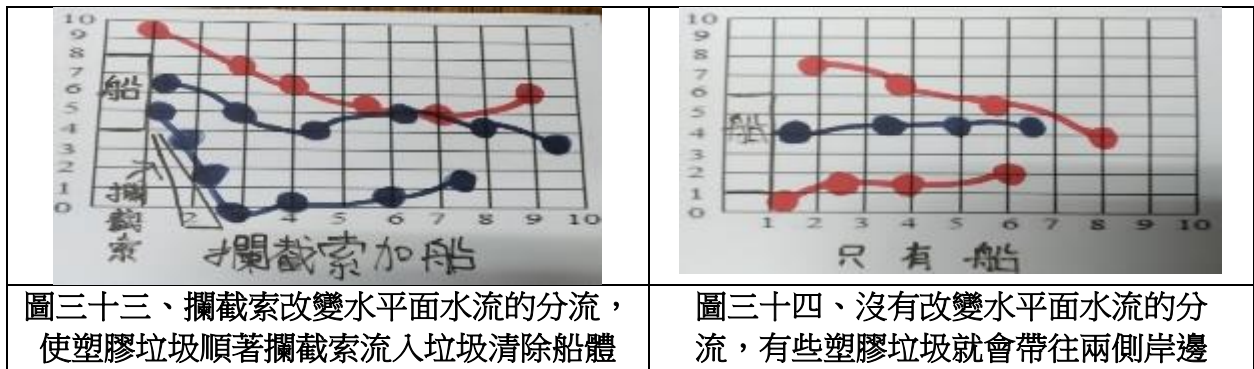
- 1.實驗步驟：(1)將優塑板裁切製成一個11\*7\*2cm的長方形船體，一端有開口，另一端用鐵絲網包覆。(2)攔截索用3cm寬度的紅色塑膠布和泡棉，裁切10cm。(3)攔截索一端黏於微型船體開口、一端用吸盤固定於微型河道的岸邊。(4)利用細綿繩綁住重20g\*3個砝碼，製成微型的船錨，以固定微型船體在河道中的位置。(5)分別擺放攔截索與河岸平行、夾角30度、夾角45度、夾角60度。(6)分別丟入100個保麗龍球，計時1分鐘，每項實驗操作5次，計算能攔截的保麗龍球數量。

																																										
放置攔截索連結垃圾清除船		實驗攔截索連結船與河岸成不同角度																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>第1次</th> <th>第2次</th> <th>第3次</th> <th>第4次</th> <th>第5次</th> <th>平均</th> <th>排序</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平行</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>4.6</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>30度</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>9</td> <td>13</td> <td>10</td> <td>11.0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>45度</td> <td>15</td> <td>18</td> <td>17</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>16.2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>60度</td> <td>22</td> <td>25</td> <td>27</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>25.2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排序	平行	4	6	5	3	5	4.6	4	30度	11	12	9	13	10	11.0	3	45度	15	18	17	15	16	16.2	2	60度	22	25	27	24	28	25.2	1		
項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排序																																			
平行	4	6	5	3	5	4.6	4																																			
30度	11	12	9	13	10	11.0	3																																			
45度	15	18	17	15	16	16.2	2																																			
60度	22	25	27	24	28	25.2	1																																			
表六、攔截索連結垃圾清除船與河岸的不同角度攔截的保麗龍球數量		圖三十二、攔截索連結垃圾清除船河岸不同角度的攔截率比較																																								

- 2.分析：(1)實驗中攔截索與河岸的成夾角60度可以攔截的保麗龍攔截率25.2%，比攔截索與河岸平行可以攔截的保麗龍球攔截率4.6%，能增加攔截的效能達5.5倍。(2)攔截索改變了水流的分流，分流推向漂浮的塑膠垃圾，需要一定的斜度，才能流入河流垃圾清除船的入口。(3)攔截索在河道中因為水流的衝力，無法放置90度垂直於河岸的角度。
- 3.實驗結果：攔截索連結垃圾清除船的攔截索與河岸的角度愈大，能更明顯改變水流的分流，所以攔截的效能增加。我們推論：「攔截索連結垃圾清除船的攔截索與河岸的行形成適當的夾角，改變分流的效果愈明顯，能攔截的漂浮型塑膠垃圾龍球數量愈多。」

	
實驗組	對照組
在岸邊單側放置攔截索連結垃圾清除船	在河流中只有垃圾清除船，無攔截索

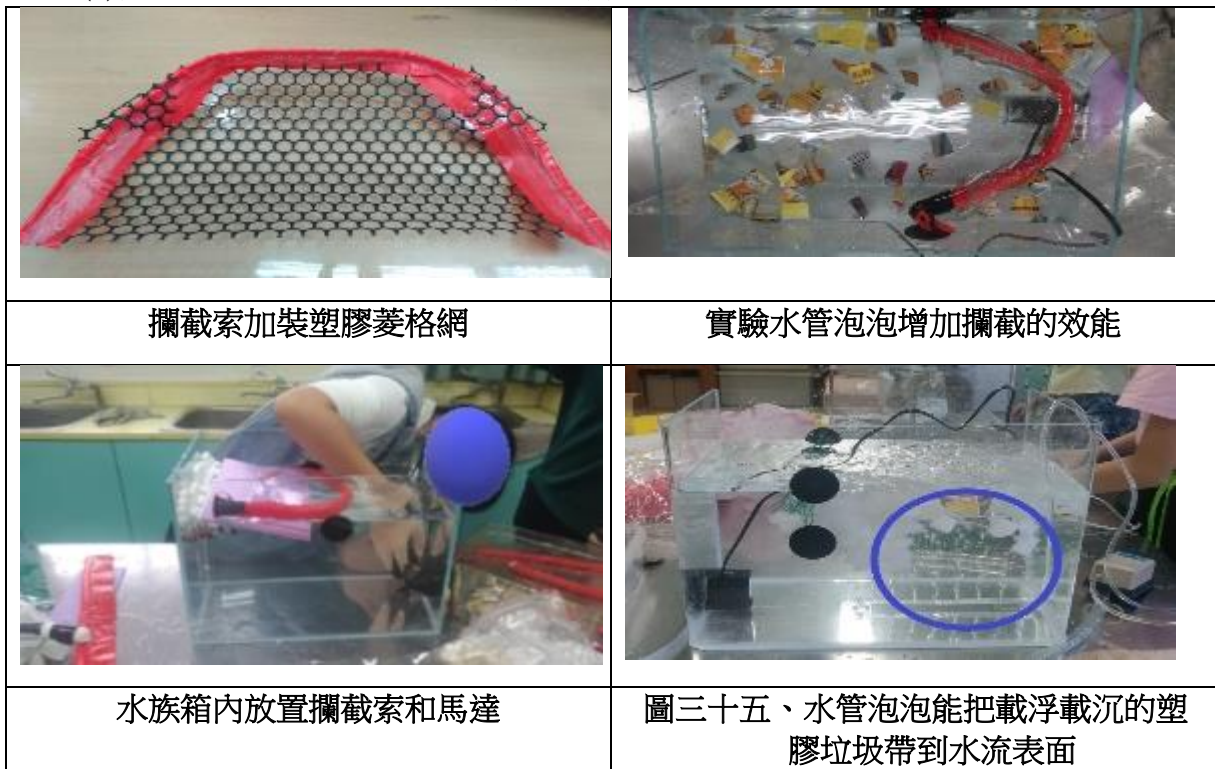




五、探究「水管泡泡」與垂直面水流的關係，以增加塑膠垃圾攔截率。

(一)我們進一步設計河流中的水管泡泡微型實驗，將載浮載沉的塑膠垃圾打起，增加河流中攔截索攔截的效能。

- 1.實驗材料：(1)玻璃水族箱45cm\*22cm\*25cm 一個。(2)紅色 PVC 軟質塑膠布加泡棉，攔截面寬3cm，長30cm 一段。(3)有孔洞的塑膠菱格網30\*20cm 一片。(4)12mm 有孔洞的硬水管20cm\*2。(5)吸盤4個、砝碼6個。(6)空氣動力：2.5w 空氣馬達1顆。(7)模擬塑膠垃圾：3\*3cm 塑膠片\*100片。



2.水管泡泡的孔洞數對於打起載浮載沉塑膠垃圾的效能

我們針對「水管泡泡的孔洞數」進行實驗的操縱變因。水管泡泡規格：水族箱專用的水管泡泡長度20公分，其上有不同孔數的孔洞為硬管，例如有2孔、4孔、6孔、8孔、10孔、12孔。

- 3.實驗步驟：(1)水族箱上側兩端固定好攔截索。(2)將水管泡泡用吸盤和砝碼固定於底部。(3)水管泡泡連結空氣馬達。(4)將水注入水族箱20公分高。(3)置入一顆8w 沉水馬達製造水循環，測試5次平均水流流速1.6公尺/分。(4)模擬垃圾3\*3cm 塑膠片\*100片放入水流中。(5)同時開啟沉水馬達和空氣馬達，(6)用碼表計時1分鐘後，撈除在攔截索內的的塑膠片數量。

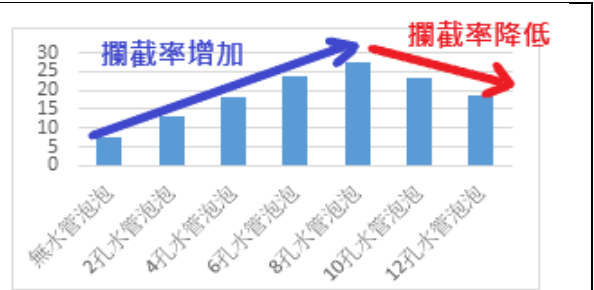


4. 實驗結果：水管泡泡的不同孔洞數的攔截率

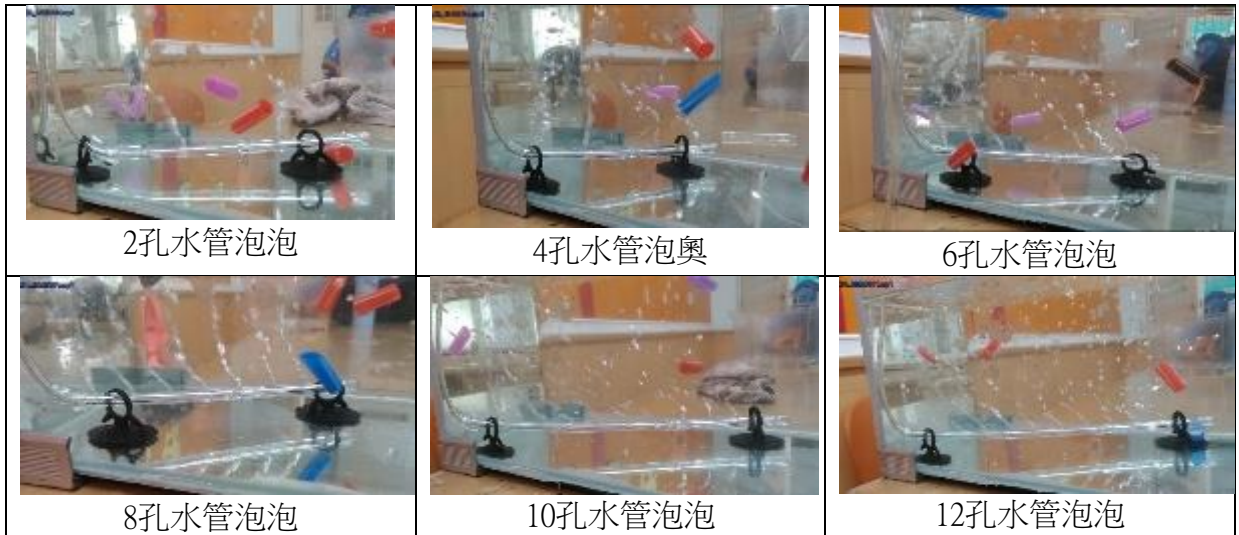
8個孔洞的水管泡泡可以增加空氣泡泡的接觸面，比2孔、4孔、6孔的攔截效能好。我們推論：「因為有孔洞的水管泡泡產生空氣的浮力，產生向上的擾流，所以「水管泡泡對於載浮載沉垃圾能增加的攔截效能較佳。」在我們的實驗中，當水管泡泡的孔數多於8孔時，泡泡產生的擾流推力反而漸弱，推升的效能反而遞減。

項目	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	標準差
無水管泡泡	7	5	9	6	3	7.8	7
2孔水管泡泡	14	16	11	15	12	13.2	6
4孔水管泡泡	20	18	20	17	16	18.2	5
6孔水管泡泡	22	23	24	27	23	23.8	2
8孔水管泡泡	25	28	25	29	30	27.4	1
10孔水管泡泡	23	24	20	25	26	23.4	3
12孔水管泡泡	19	18	21	18	17	18.6	4

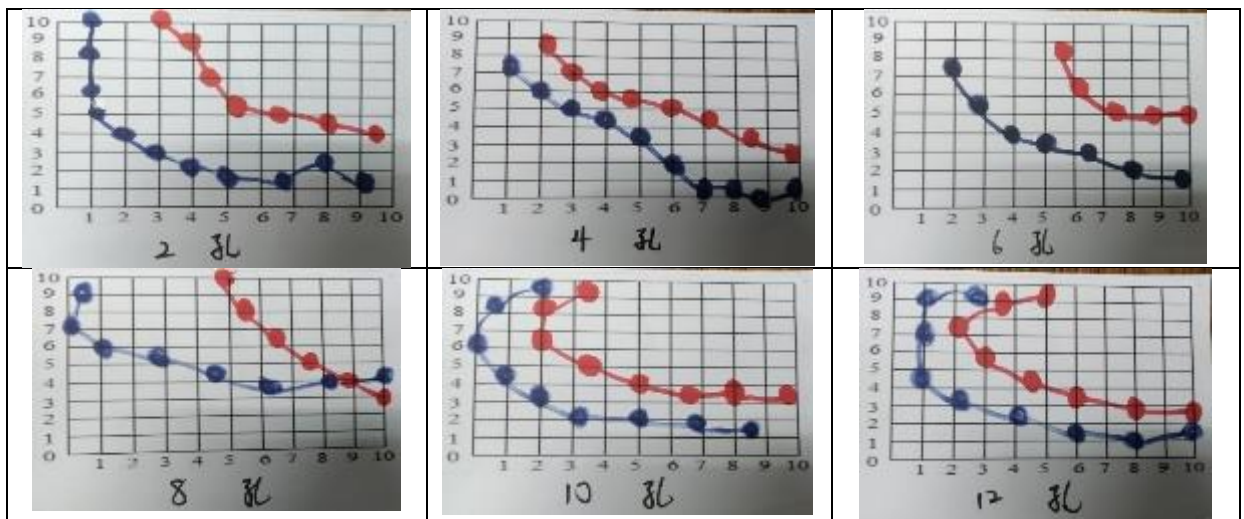
表七、不同孔數的水管泡泡攔截率



圖三十六、不同孔洞水管泡泡增加的攔截率比較



圖三十七、不同孔洞數的水管泡泡製造向上的擾流



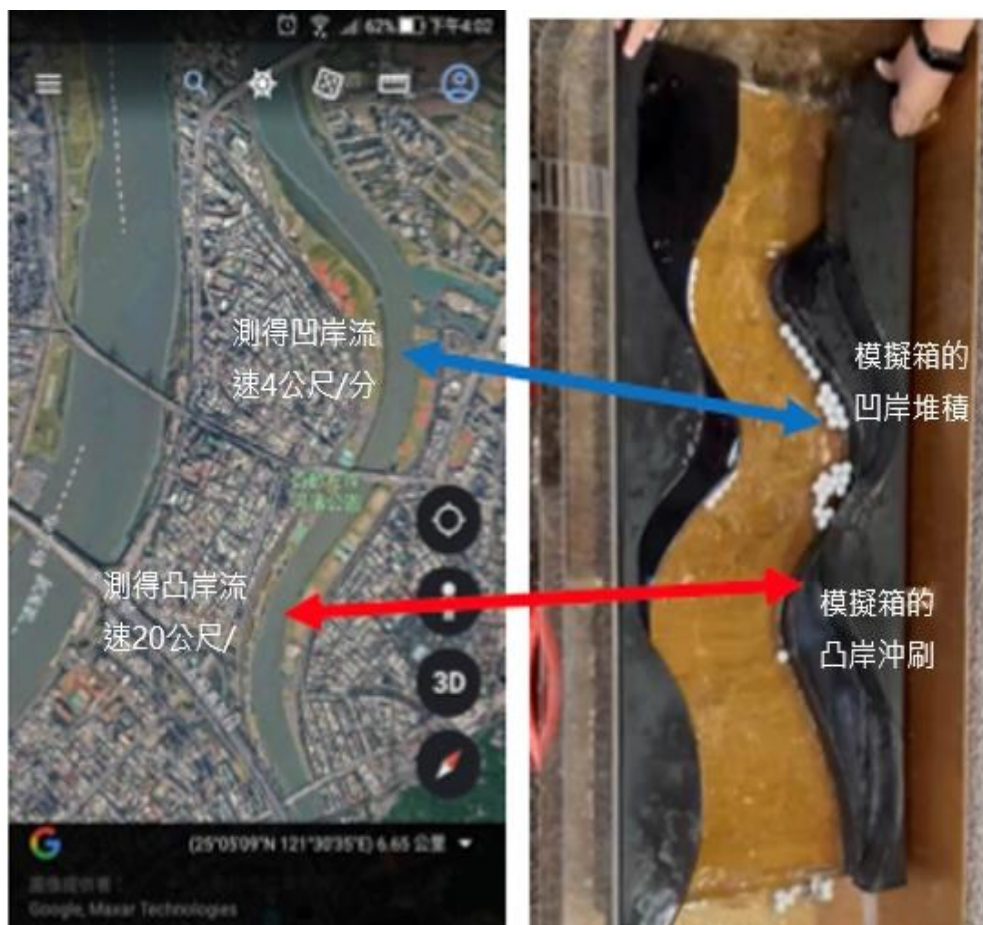
圖三十八、不同孔洞數的水管泡泡製造向上的擾流軌跡圖

5.實驗結果:水管泡泡製造的擾流能明顯將載浮載沉的塑膠垃圾帶往河流表面，但我們發現水管泡泡的孔洞數會影響水流的力量，實驗中發現8孔能造較佳的向上擾流，若以10孔和12孔的擾流觀察，往上的水流力量減弱造成表面水流有回流現象反而不利攔截塑膠垃圾。



六、依據「曲流河道水流的回流」，設計在凹岸和凸岸不同位置的攔截索連結垃圾清除船，試著找出適當的角度和位置。

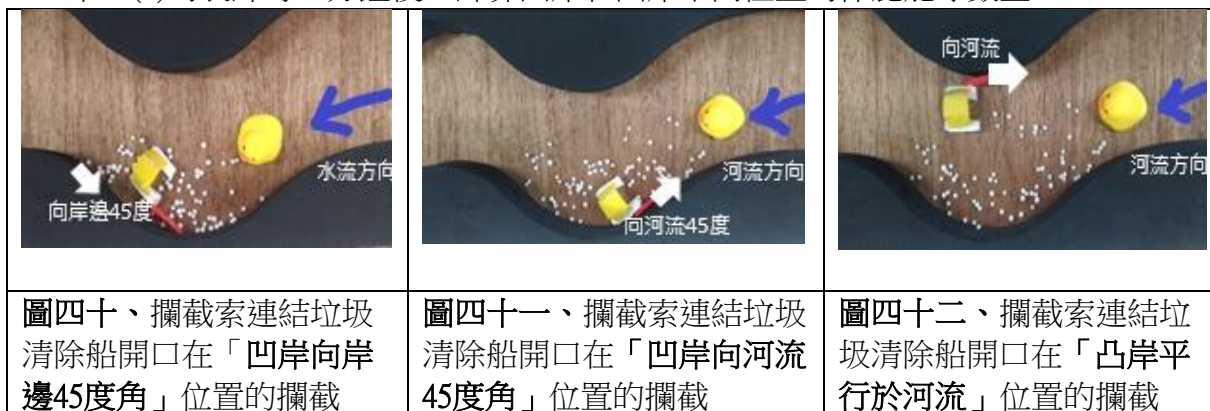
(一)我們依據自然課提到河流的曲流，其中有凹岸和凸岸，並且和堆積作用有關。我們對照真實的河流曲流的區段，將曲流泡棉教具黏合在壓克力河流微型模擬箱河流的底部，以製造出不同的水流狀態。



圖三十九、淡水河河道的曲流流速與模擬箱的凹岸堆積現象對照



(二)實測攔截索連結垃圾清除船在曲流河道凹岸的兩個位置與凸岸的位置攔截的效能  
 實驗步驟：(1)攔截索用前最佳效果的3cm 寬度的紅色塑膠布和泡棉，裁切10cm。(2)攔擊所一端黏於垃圾清除船體的開口、一端黏於微型曲流河道的岸邊。(3)將水注入木製河流微型模擬箱注水5公分寬度，下方則放置塑膠儲水圓桶。(4)置入一顆35w 沉水馬達製造水循環的水流。(5) 模擬塑膠垃圾：保麗龍球100顆投入模擬箱中。(6)碼表計時一分鐘後，計算凹岸和凸岸不同位置的保麗龍球數量。



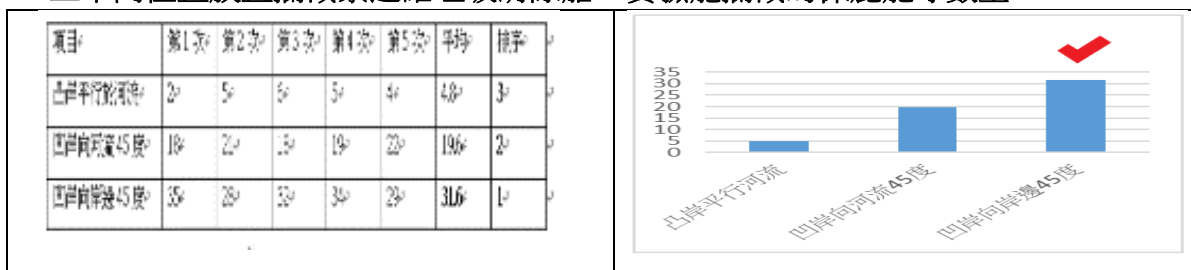
圖四十、攔截索連結垃圾清除船開口在「凹岸向岸邊45度角」位置的攔截

圖四十一、攔截索連結垃圾清除船開口在「凹岸向河流45度角」位置的攔截

圖四十二、攔截索連結垃圾清除船開口在「凸岸平行於河流」位置的攔截

(三)實驗結果:

以水流順流方向「凹岸向河流45度角」、「凹岸向岸邊45度角」、「凸岸平行於河流」三不同位置放置攔截索連結垃圾清除船，實驗能攔截的保麗龍球數量。



表八、曲流不同位置的攔截索連結垃圾清除船能攔截保麗龍球的數量

圖四十三、攔截索連結垃圾清除船在凹岸和凸岸的攔截率比較

- 1.以水流順流方向，凹岸向岸邊45度角的攔截索連結垃圾清除船的攔截率31.6%，凹岸向河流45度角的攔截索連結垃圾清除船的攔截率19.6%，凹岸平均攔截率25.6%，是凸岸平行於河流的攔截率4.8%的5.3倍，攔截效能明顯高出許多。
- 2.凹岸水流速度比較慢，且會有水流的回流，所以容易攔截到堆積的塑膠垃圾。而凸岸水流較快，所以漂浮的塑膠垃圾就容易沖走，不容易攔截到。
- 3.而凹岸向岸邊45度角的攔截率31.6%，是凹岸向河流45度角的攔截攔截率19.6%的1.6倍，我們推論原因是凹岸的另一側更容易因水流回流作用有堆積現象。
- 4.依據曲流中凹岸與凸岸的不同水流作用，我們經過微型實驗推論：「攔截索連結垃圾清除船放置而凹岸向岸邊45度角的位置最佳，能攔截較多的飄浮塑膠垃圾。」



圖四十四、攔截索連結垃圾清除船在凹岸向河流45度角位置的攔截較佳



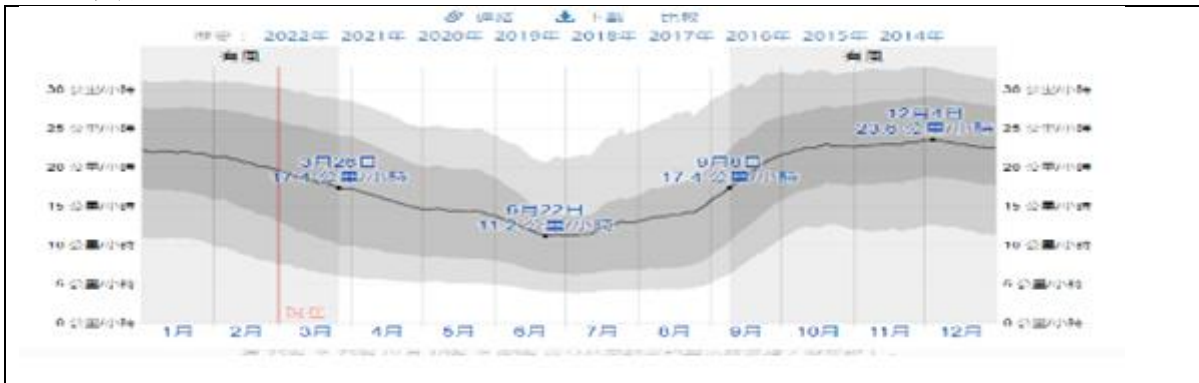
圖四十五、攔截索連結垃圾清除船在凹岸凸岸位置比較示意圖



七、依據淡水河下游風向和風速全年資料圖，設計在東北方和南方不同位置的風扇，並不同的風速，實驗攔截索的效能

(一)淡水河下游全年氣候資料判讀：

我們在網路查詢關於淡水河下游整年的氣候資料，在夏季風速約12公里/時，多吹南風；冬季盛行東北季風，而且風勢強，風速可達20公里以上。例如我們在1月7日當天最大風速就有24公里/時。所以我們回到實驗室，設計風向和風速對攔截索攔截率的微型實驗。



圖四十六、淡水河下游全年平均風速資料圖(2021年)

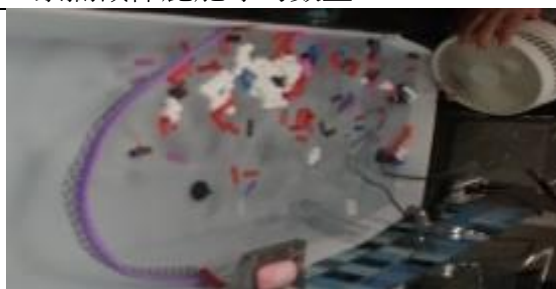


圖四十七、淡水河下游全年風向資料圖(2021年)

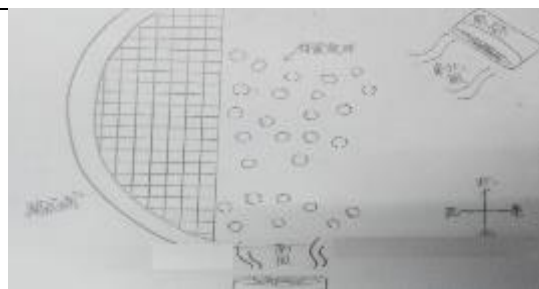
(二)設計風向和風速相關的微型實驗：

在河流微型模擬箱 III(120\*40\*30cm)，模擬季風因素和風力大小對攔截索攔截垃圾效能的影響。風扇使用三段式手持風扇，模擬強風吹襲河面，根據手持電風扇的額定數據是2.3~4公尺/秒，風速弱風是8.28公里/時，強風風速是14.4公里/時。

1.實驗步驟：(1)固定3公分寬的塑膠布攔截索。(2)直徑1.5公分保麗龍球\*100個投入模擬箱。(3)先用指北針定位，將微型實驗的河流擺放為東西向，和淡水河段相同。(4)手持風扇則分別放置東北方和南方。(5)開啟風扇後，用碼表計時一分鐘，計算攔截索攔截保麗龍球的數量。



利用手持電風扇模擬風向和風速對攔截率的影響

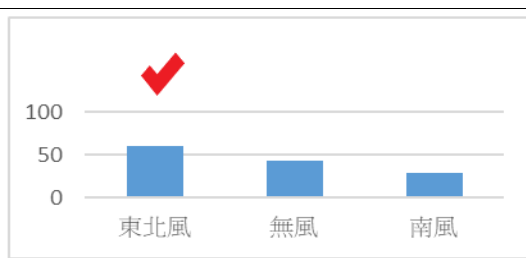


圖四十八、河流的微型模擬箱中東風和南風的示意圖

## 2. 實驗結果：(1)風向的影響

我們在距離攔截索40公分處放置手持式風扇，分別擺放在東北角和南方，風速為中風速，測試攔截索能攔截的保麗龍球數量。模擬東北風時，攔截索可以攔截的保麗龍球攔截率60.6%，是無風狀態的攔截率42.8%的1.4倍，是模擬南風狀態的攔截率28.4%的2.1倍。

項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排序
東北風	60	58	65	61	57	60.6	2
無風	40	45	40	45	40	42.8	3
南風	25	34	30	27	26	28.4	1



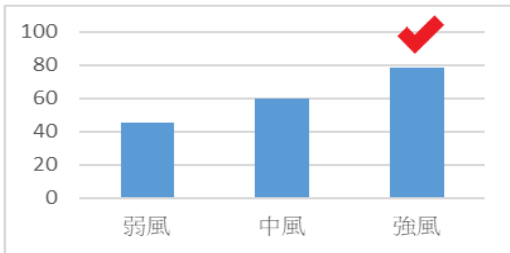
表九、不同風向時攔截索能攔截的保麗龍球數量

圖四十九、不同風向時攔截索攔截率比較

## 3. 實驗結果：(2)風速的影響

我們在距離攔截索40公分處放置手持式風扇，以東北角方向，控制不同的風速，測試攔截索能攔截的保麗龍球數量。模擬強風吹襲河面，根據手持電風扇的額定數據是2.3~4公尺/秒，風速弱風是8.28公里/時，強風風速是14.4公里/時。強風時攔截的保麗龍球攔截率78.6%，是中風狀態的攔截率59.8%的1.3倍，是模擬弱風狀態的攔截率45.6%的1.7倍。

項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排序
弱風	42	51	49	47	39	45.6	3
中風	62	55	60	65	57	59.8	2
強風	75	79	73	84	81	78.6	1



表十、不同風速時攔截索能攔截的保麗龍球數量

圖五十、不同風速攔截索攔截率比較

## 4. 實驗討論：「風向和風速」也是影響河流攔截塑膠垃圾的因素。





(1)風向的影響：我們模擬東北風時，攔截索的攔截率60.6%，是無風狀態的攔截率42.8%的1.4倍，是模擬南風狀態的攔截率28.4%的2.1倍。

(2)風速的影響：.我們模擬強風吹襲河面，根據手持電風扇的額定數據是2.3~4公尺/秒，風速弱風是8.28公里/時，強風風速是14.4公里/時。強風時攔截的攔截率78.6%，是中風狀態的攔截率59.8%的1.3倍，是模擬弱風狀態的攔截率45.6%的1.7倍。

## 八、環境教育推廣和分享科展微型實驗：

(一)我們在老師的指導下，每次週末有不同的同學輪流負責工作日誌，因為大家都很認真記錄，我們這本工作日誌都寫滿了。

(二)我們也利用晨光時間在班級做河流的垃圾和攔截裝置的微型介紹與推廣，希望其他同學們對於河流的垃圾問題有更深入的了解，也在現場互動和請同學動手操作我們的微型實驗河流的微型模擬箱喔!

	
我們認真的研究工作日誌	我們22週寫完整本研究工作日誌
	
推廣環保教育和分享科展研究	介紹微型實驗，請同學動手操作

## 伍、討論

### 一、實驗討論：

#### (一)設計河流的微型模擬箱以觀測水流樣態並實驗攔截垃圾：

我們為了在實驗室模擬河流，並討論以微型實驗的主要原則，所以使用的材料盡量精簡，經過三代的河流微型設計，過程中時在絞盡腦汁，也發現這些環境工程應用實驗的設計不簡單，特別是穩定的水循環設計實在不容易。我們將三代的優缺點比較如下表：

河流的微型模擬箱設計	優點	缺點
河流微型微型模擬箱模型－優塑板拼接	材料便宜，裁切容易可塑性強，適合當作模型。	遇水容易滲入，用一天就泡水而軟塌不能使用了。
河流微型微型模擬箱 I－塑膠箱	塑膠置物箱較易取得。自己研究出水口和水循環系統，水從平口像瀑布流下，最好玩。	防水性好，但是水龍頭的水流不能穩定而且稍有不慎水就流出來，造成水資源浪費。
河流微型微型模擬箱 II－木板製	絞盡腦汁設計，自己手工拼接黏合，成就感最高。放置攔截索的長度最適合。	木板接縫很難處理，使用上也有滲水問題。用了一段時間就裂開了，修補費時。
河流微型微型模擬箱 III－透明壓克製	密合度最好，不會滲漏。全透明四面環景，可以清楚看見水流擾流和水管泡泡。	工廠訂製，價格較貴。目前的規格稍小，不容易細部測量流速。

表十一、河流的微型模擬箱試作和 I~III代的優缺點比較



(二)在河流的微型模型模擬箱內觀察到水流的樣態並描繪軌跡圖：

- 1.在微型實驗中，我們水流的方向是影響塑膠垃圾攔截的重要因素，其中有水平面直向流動時會偏向兩側，中間流速稍快，兩側流速稍緩，因此漂浮的保麗龍球容易偏向兩側堆積。
- 2.水流垂直面有擾動的現象，在第 I 代的河流微型模擬箱不易發現，因為箱體四周都是不透明的材質;在第 II 代木板製的河流微型模擬箱就可以觀察，因為我們加了一片透明的壓克力側板，到了第 III 代的河流微型模擬箱就看得非常清楚，因為箱體四周都是透明壓克力的側板，所以我們很清楚觀察到彩色吸管會載浮載沉，且因水流的擾動而加劇。老師指導我們用攝影的影片在電腦慢速的回放，一格一格描繪，我們畫了許多張水流的軌跡圖，歸納出垂直面水流擾流的樣態。

(三)攔截塑膠垃圾的實驗－攔截索的不同寬度：

我們推論攔截索寬度加到適當寬度，能攔截更多漂浮的塑膠垃圾。不過加寬至 5cm 寬度後的攔截率降低，表示對於漂浮的垃圾，加高攔截索到一應的寬度後反而會攔阻水流或造成回流，所以攔截效能反而下降。另外模擬垃圾中的塑膠片會載浮載沉，所以攔截效率也不佳。因為塑膠布製成攔截索，即對水流有一定的反作用力，容易造成水流的回流，所以微型模擬箱中的攔截索以 3 公分的較為適宜。

(四)攔截塑膠垃圾的實驗－水管泡泡的不同孔洞數與形成擾流：

水管泡泡的實驗中，可以明顯看出氣泡產生水流的擾流現象，將載浮載沉的塑膠吸管帶往水面上。這個是水族箱配備的水管泡泡，我們做了許多硬管和軟管的水管泡泡的操作，可以有效增加水面上攔截塑膠垃圾的效能。水管泡泡可以搭配攔截索加船，在水流中將載浮載沉的塑膠垃圾帶往水面，順著水流的力量流入攔截索範圍，然後塑膠垃圾漂進垃圾清除船。

## 二、研究困難

(一)因為水流的流向有分流、擾流和回流現象，所以操作實驗要做好控制變因，例如水流量的穩定、箱體的平衡、放置模擬塑膠物的固定點等，都會影響實驗的數據。微型實驗的數據不容易精確，有待精進河流微型模擬系統來進行實驗。

(二)攔截索的設計是為了增加塑膠吸管垃圾的集中數量，但是實驗操作時發現增加攔截索的寬度愈寬，也會對表面水流的造成回流，讓塑膠吸管的往回頭漂走。還需要考慮控制攔截索的寬度因素，使之不造成水流的回流。

## 三、研究未來方向

(一)我們勘察的淡水河下游段，其受海洋潮汐的影響，有河水回流的情況。我們查資料得知，河水的水位、流速等有顯著的週期性變化的河段，稱為感潮河川(Tidal river)。漲潮時會使較輕的塑膠垃圾回流，而退潮時應有助於塑膠垃圾往下游流動，值得我們繼續探究。

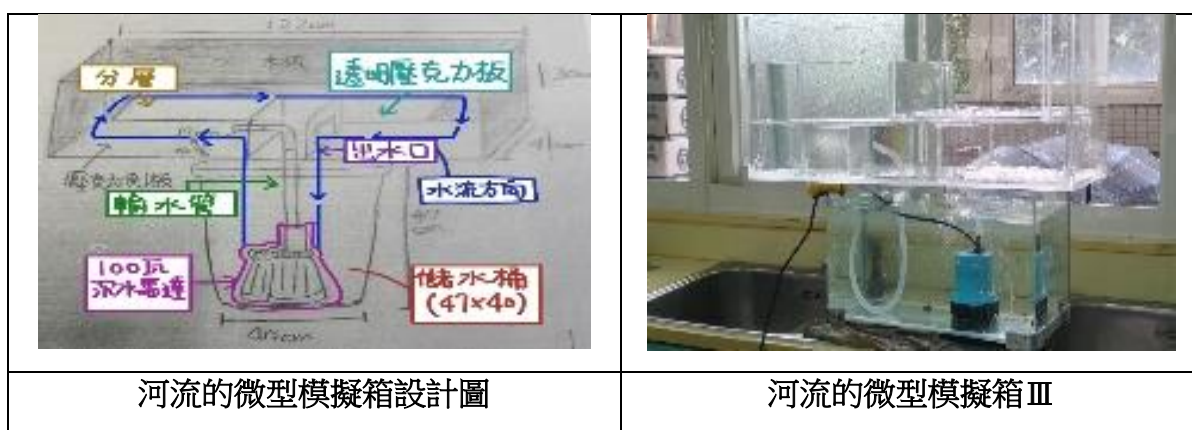
(二)到河流裡實際測試我們的攔截索連結船加上水管泡泡裝置，將會有更大的挑戰，我們計劃拜訪環保署和市水利局，提出實際在河流提升攔截塑膠垃圾裝置的可行性。

## 陸、結論

### 一、以微型實驗探究河流攔截塑膠垃圾效能的可行性

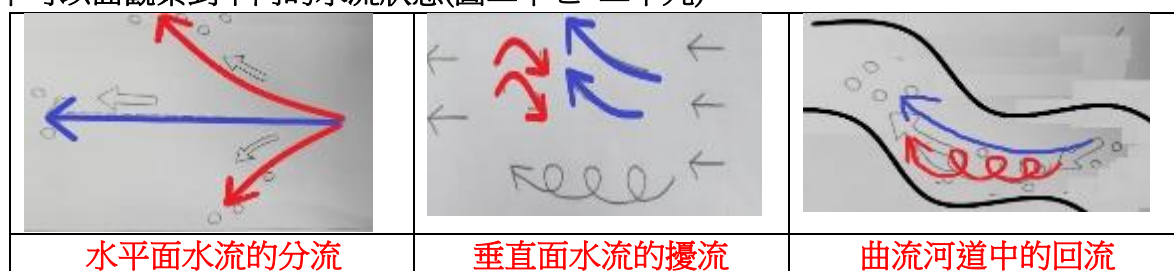
我們從淡水河下游百齡橋區域的實際探勘，對照歷年流速資料對照並實地測量河流水流速度(圖一、六、十二)，進行模擬河流的微型實驗(圖二、三)，並且回到勘查的河流現場，再進一步修正實驗。

從第一代簡易型保塑膠箱製的河流微型模擬箱(圖十四)、經過第二代木板製的河流微型模擬箱(圖十六)、到第三代透明壓克力製的河流微型模擬箱的設計(圖十七)，進行了近一年的設計與實驗。我們發現水流的不同樣態，然後依據水流不同的樣態，更精準的設計攔截垃圾的裝置，例如設計水管泡泡，成功的製造向上的擾流，有效的將載浮載沉的塑膠垃圾帶到河面，以增加攔截垃圾的效能。實驗過程中，我們持續回到河流現場勘查水流情形，再回到實驗室修正實驗，找出攔截塑膠垃圾裝置之較佳效能的組合，實踐以微型實驗探究河流攔截塑膠垃圾效能的可行性。



### 二、發現「水流方向和擾流狀態」是影響河流攔截塑膠垃圾的重要因素：

在微型實驗中，我們一再證實，不同的水流樣態與攔截塑膠垃圾效能有密切關係。我們發現這些模擬塑膠漂流物方向不一致，而且水流有回流的現象。從透明壓克力箱中可以觀察到不同的水流狀態(圖二十七~二十九)。



「水流方向」是影響河流攔截索收集塑膠垃圾的重要因素，我們依據河流的微型模擬箱中水流的三種狀態，設計不同的攔截塑膠垃圾的裝置：

- (一) 探究「河流水平面水流的分流」，設計攔截索連結垃圾清除船改變水流的分流，並實驗攔截索與河岸適當的角度(表六)。
- (二) 探究「河流垂直面水流的擾流」而載浮載沉的塑膠垃圾，設計水管泡泡的裝置製造向上的擾流(圖三十七~三十八)。利用水管泡泡的浮力，能有效將載浮載沉的塑膠垃圾打起來，增加攔截索的攔截效能(表七、圖三十六)。

(三)依據「曲流河道水流的回流」，在凹岸容易堆積的相對位置，置放攔截索連結垃圾清除船，其中以攔堰所連結垃圾清除船在凹岸向岸邊45度角位置的攔截率最佳(表八、圖三十九~四十三)。



三、建議設置河流攔截塑膠垃圾裝置的適合組合：

我們觀察到實際河流的大型垃圾攔截索，常是有垃圾攔截需求時才去擺放裝置，幾天時間就移除了，另外如垃圾清除船也只有幾天工作時間才有攔截垃圾的效能。

(一)依照我們微型實驗的結果，我們能有24小時擺放的單側攔截索連結垃圾清除船，也就是較小型的無動力的垃圾清除船，隨著水流的特性，利用單側攔截索帶入小型垃圾清除船，可顯著增加河流攔截塑膠垃圾的效能。

(二)依據查考淡水河下游全年風向圖，一年中擺放大型攔截索較佳時間是1月至5月，其常吹東北風和東風，其他時間如6~8月常吹南風，攔截率應會下降(表九、圖四十九)。而依據淡水河下游全年風速圖，一年中擺放大型攔截索適當時間是9月至3月，其平均風速在每小時17.4公里以上，特別是11~1月平均風速達每小時20公里，攔截率會較好(表十、圖五十)。

## 柒、參考文獻資料

### 一、中文部份

#### (一)研究發表:

淡水河流速、流量等相關現地量測資料來源:

磺港溪壓力箱涵防淤改善委託規劃工作暨封堤及磺港抽水站委託規劃工作(2022)，國立台灣大學。

淡水河流域水文測站經常性維護及全潮流量測驗工作」(2021)，經濟部水利署第十河川局。

流速量測儀器參考來源:

曾文水庫泥沙濃度觀測建置及泥沙運移研究暨數模分析規劃(2013)，南區水資源局。

<https://tw.weatherspark.com/>

#### (二)期刊文章

錢樺、鐘耀照、鄭皓元、張煥盟(2019年12月)。臺灣北部塑料垃圾從河川到近岸海洋的輸送觀測。海洋及水下科技季刊。29(4): 41-50。

王永珍、梁昇(2003)。蜿蜒河流之水理與地形因子對河川影響之研究。水土保持學報。35(3): 291-308

李明靜(2003)。河川表面流速與流量非接觸式量測方法之發展與應用。國立成功大學水利及海洋工程研究所論文

#### (三)網路文章



行政院環保署水相惜民眾資訊網

[https://watertr.epa.gov.tw/EPA\\_WaterTrashRemove\\_public/Default.aspx](https://watertr.epa.gov.tw/EPA_WaterTrashRemove_public/Default.aspx)

陳文姿(2017年06月30日)。淡水河全球第16驕「海洋吸塵器」團隊來台揭河川塑膠污染。環境資訊中心。 <https://e-info.org.tw/node/205672>

鱸魚(2019年11月23日)。海洋吸塵器下一章：到了關水龍頭的時候了—海洋清潔另一項新發明「河川垃圾攔截器」。取自 <https://vocus.cc/bass/5dd215abfd897800015e2275>

胡介申、徐筱珺(2020年11月11日)。乾淨的河、湛藍的海 - 河流流域廢棄物快篩調查成果。荒野保護協會。取自 <https://www.sow.org.tw/blog/20201111/41985>

(四)媒體報導

高詣軒(2019年11月09日)。全球首座「氣泡屏障」攔截水中塑膠垃圾—荷蘭阿姆斯特丹試行。上報，取自 [https://www.upmedia.mg/news\\_info.php?Type=3&SerialNo=75032](https://www.upmedia.mg/news_info.php?Type=3&SerialNo=75032)

(五)科展研究

「海洋救星—水中漂浮垃圾桶」、「海洋垃圾防衛悍將—收集型三角鼎消波塊」等。

第 58 屆全國科學展覽會國小組生活與應用科學科。科展群傑廳

<https://www.ntsec.edu.tw/Science.aspx?cat=21&a=6821>

二、英文部份

(一)期刊文章

Emma Schmaltz, Emily C. Melvin, Zoie Diana, Ella F. Gunady, Daniel Rittschof, Jason A. Somarelli, John Virdin, Meagan M. Dunphy-Daly (November 2020). Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution. *Environment International*, Volume 144, 106067.

(二)網路影片和介紹

超精美的微型水工試驗(2021年5月)行政院農委會 水土保持局網站

<https://tech.swcb.gov.tw/EPaper/Home/EPaper?PaperID=0a7abf63-c580-4cd4-9af5-45e2de629cdb>

(三)氣象查詢網站

<https://tw.weatherspark.com/>

(四)體積法測流速

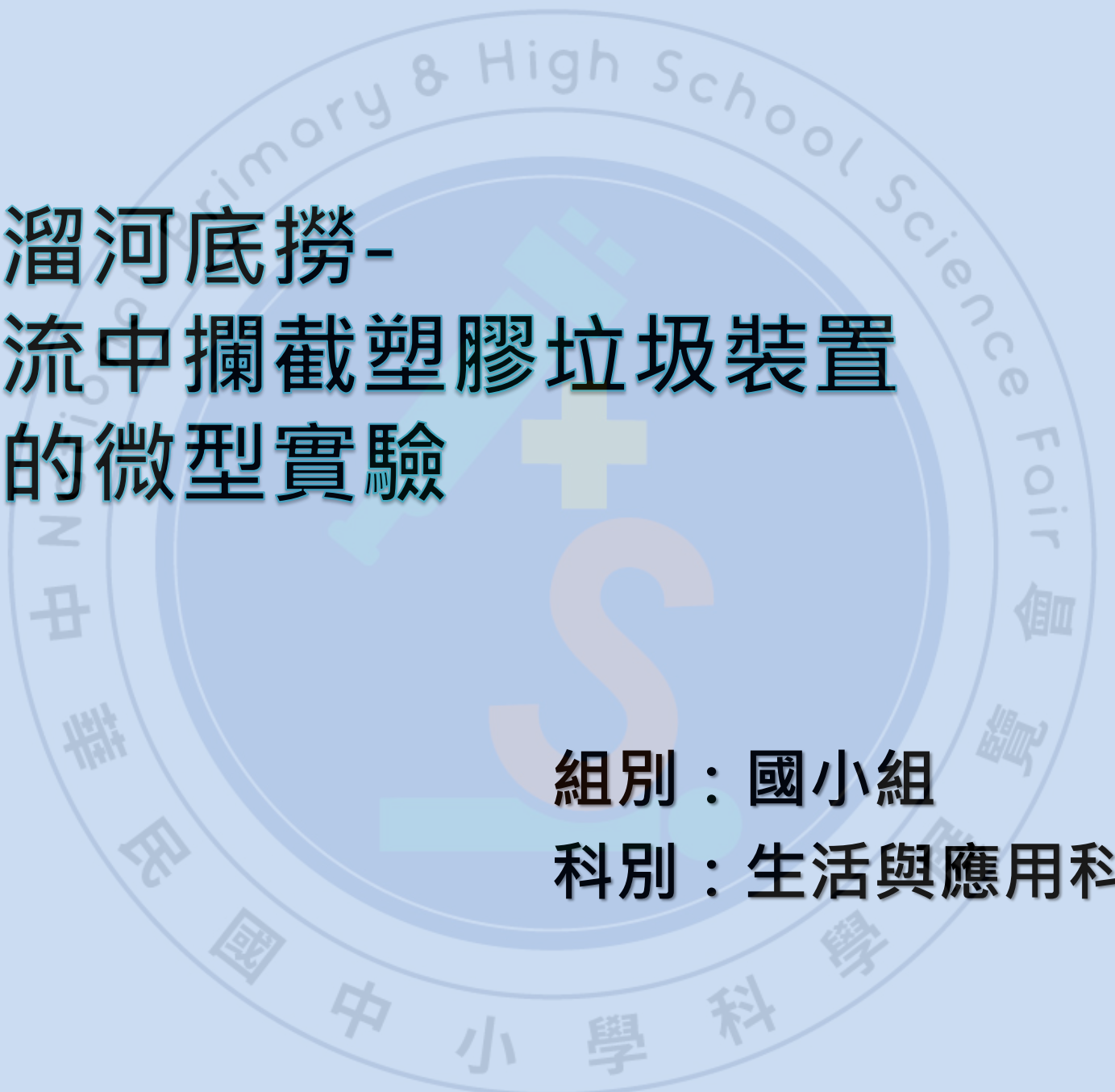
Volumetric flow rate , <https://zh-tw.lambdageeks.com/volumetric-flow-rate-volume-flow-rate/>

## 【評語】 082926

本研究經過實地勘查河流流速及垃圾攔截設施，分析相關文獻，在實驗室中嘗試製作微型模擬箱，模擬河道產生的分流、擾流與回流，具研究價值，利用水管泡泡將汙染物抬升至攔截柵具創意，真實河道情形較為複雜，河床底部石頭泥沙阻礙也會造成河流流速改變或渦流產生，未來可繼續研究，也建議將研究結果提供環保單位參考，更增研究價值性及實用性。

## 作品簡報



The background features a large, faint watermark logo for a science fair. The logo is circular and contains the text "Primary & High School Science Fair" around the top edge and "中小學科學展覽會" around the bottom edge. In the center of the logo, there is a stylized graphic consisting of a green cross, a blue question mark, and a red letter 'S'.

# 清潔溜溜河底撈- 探究河流中攔截塑膠垃圾裝置 之效能的微型實驗

組別：國小組

科別：生活與應用科學（二）

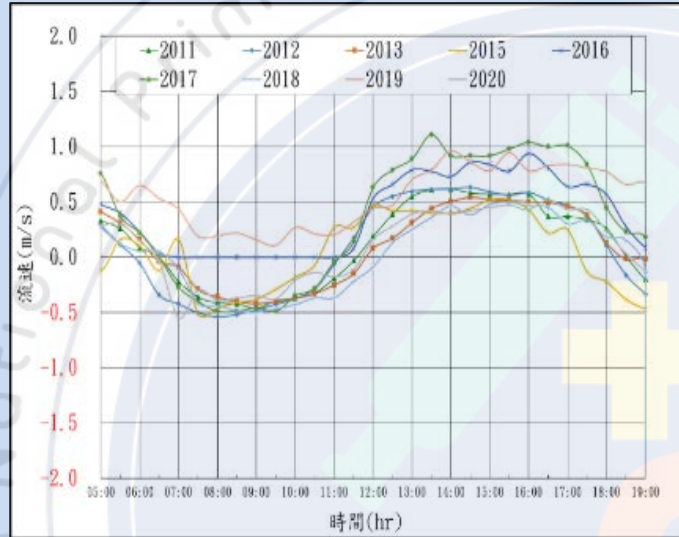
# 前言：研究背景和目的



圖一：淡水河的河川垃圾



圖二：河流大型垃圾攔截索



圖三、2011~2020年淡水河下游之流速統計圖(資料來源:經濟部水利署第十河川管理局)

- 全球著名的荷蘭「海洋吸塵器」計劃所屬的海洋潔淨基金會 (The Ocean Cleanup) 在近年公布全球 4 萬多條河流汙染資料，台灣淡水河竟然名列最髒河流第 16 名，每年約 1.47 萬公噸垃圾由淡水河流入大海，相當於每天 40 公噸。
- 我們關切河流的塑膠垃圾汙染問題後，發現「水流方向和擾流狀態」是影響河流中攔截塑膠垃圾裝置的重要因素，所以進行微型實驗探究其效能。

## 微型實驗

- 實地勘查河流後，如何建立河流的**微型實驗**。

## 河流模擬箱

- 如何建構具水循環功能的**河流模擬箱**，觀察水流樣態？

## 攔截索

- 探究**攔截索**與水平面水流的關係，增加塑膠垃圾攔截率。

## 水管泡泡

- 探究**水管泡泡**與垂直面水流關係，增加塑膠垃圾攔截率。

## 曲流凹岸

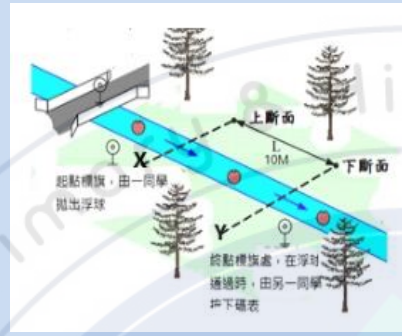
- 如何利用**曲流的凹岸**的回流，增加塑膠垃圾攔截率？



# 研究方法

浮標法

設立斷面



設立區段

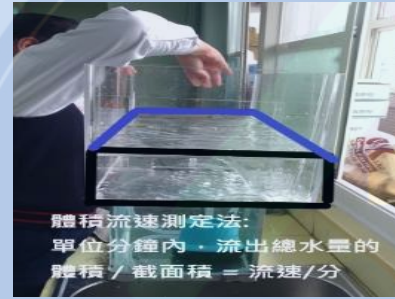


計算速率

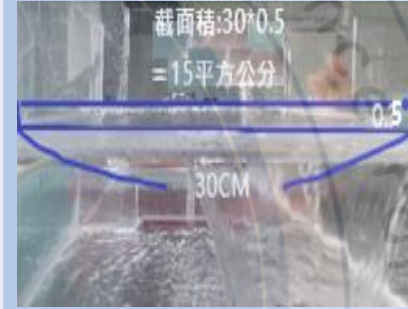
計算流速( $V = L / t$ )，例如在凹岸測得水流平均速度：  
 $(10 / 152.2) * 60 = 3.9\text{m/min}$ 。

體積法

計算流量



計算面積



計算速率

流量體積： $45 * 22 * 10 = 9900\text{cm}^3$ ，除以截面積： $30 * 0.5 = 15\text{cm}^2$ ，得到水速為  $6.6\text{m/min}$ 。

轉速法

利用風扇



雷射轉速



計算倍率

測凹岸46轉和凸岸152轉，轉速差約為1/3與實際河流凹岸水速較慢，凸岸水速較快相符。

描點法

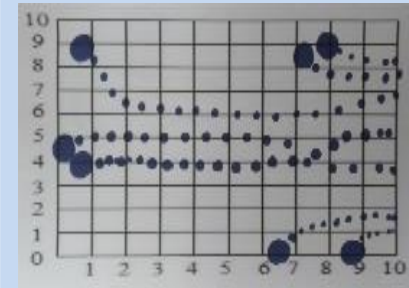
水流攝影



電腦播放

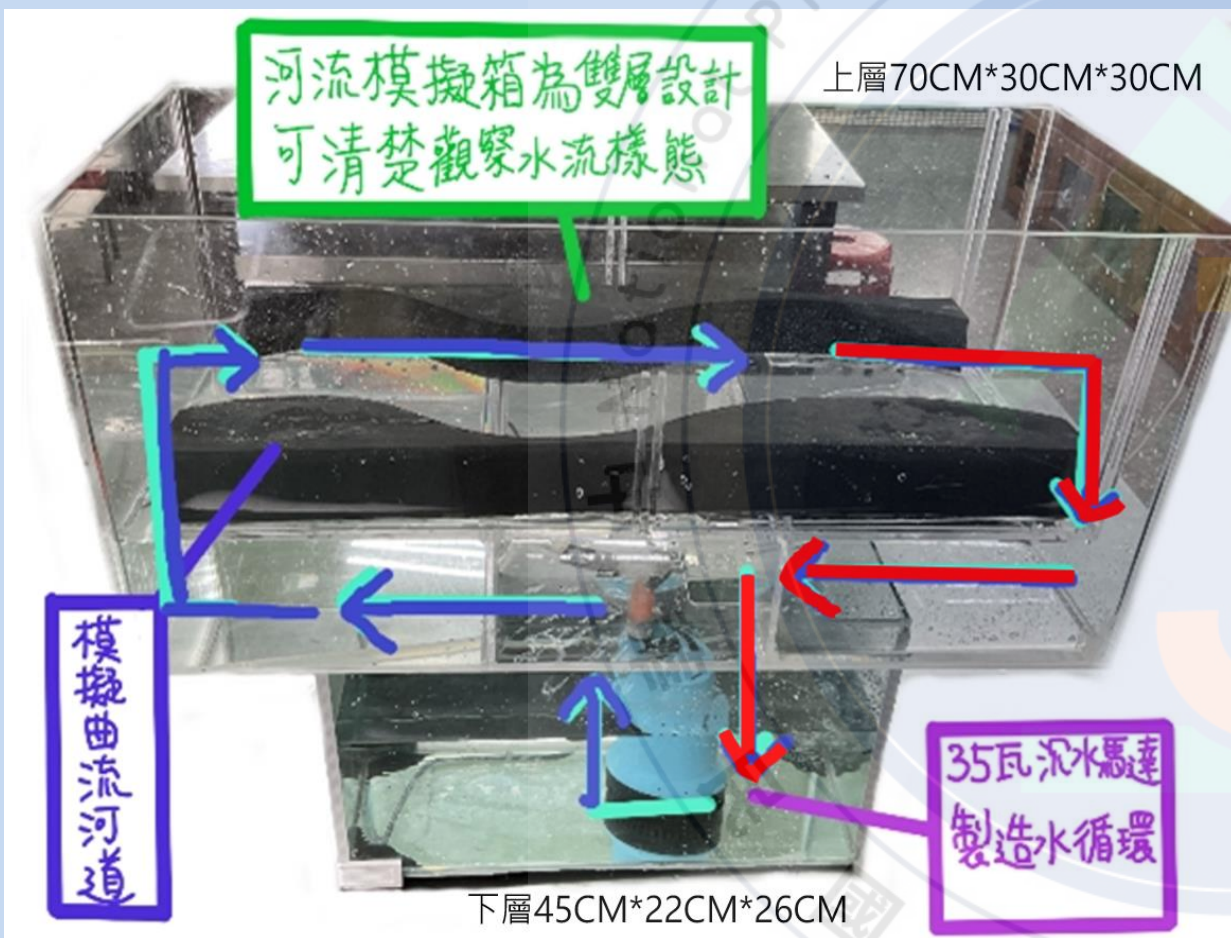


描於紙上

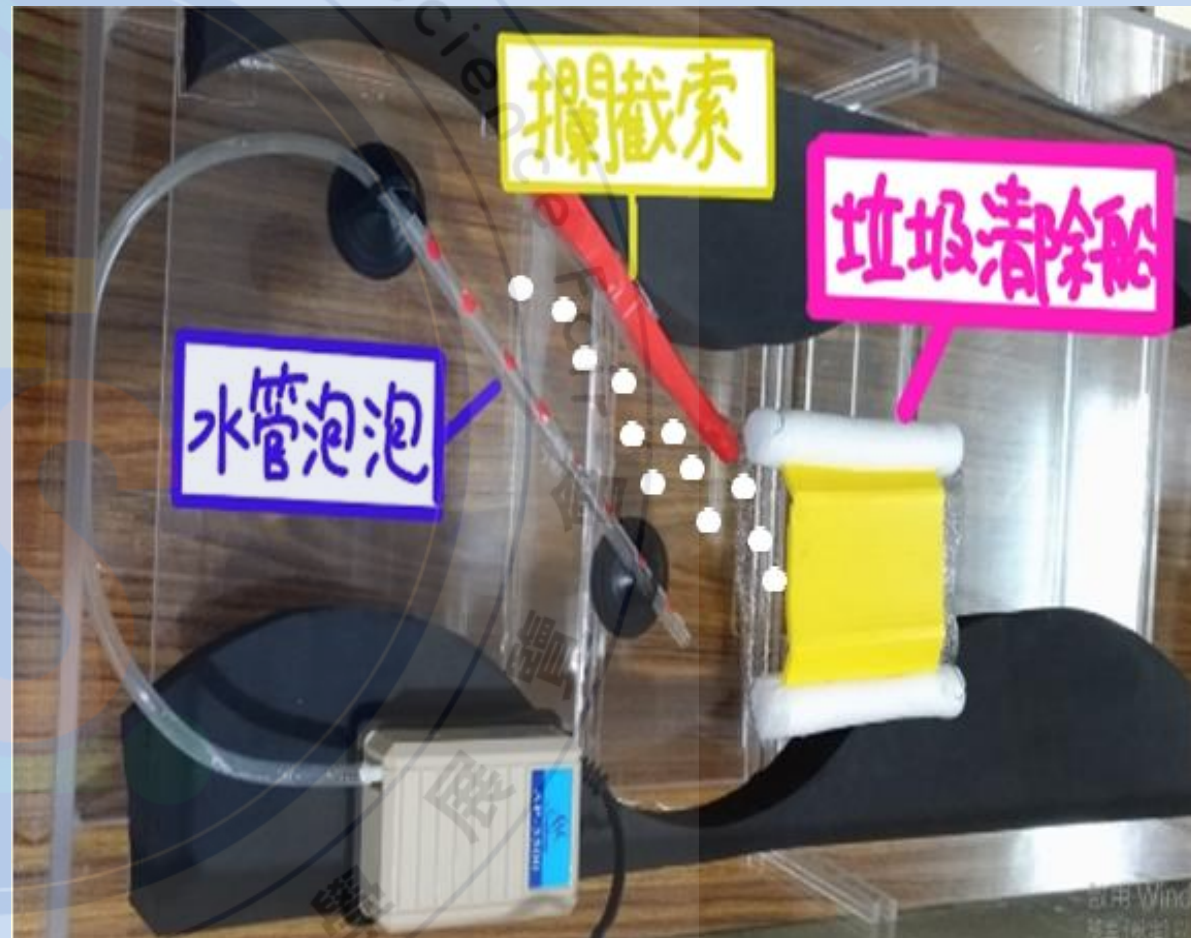




# 研究設備



河流的微型模擬箱能製造水循環效果



微型實驗中的攔截塑膠垃圾裝置  
(俯視圖)



# 研究結果- 自製河流模擬箱



[ 試作河流模擬箱 ] 優塑版黏合，**遇水容易滲入**，使用一次就泡水軟塌。



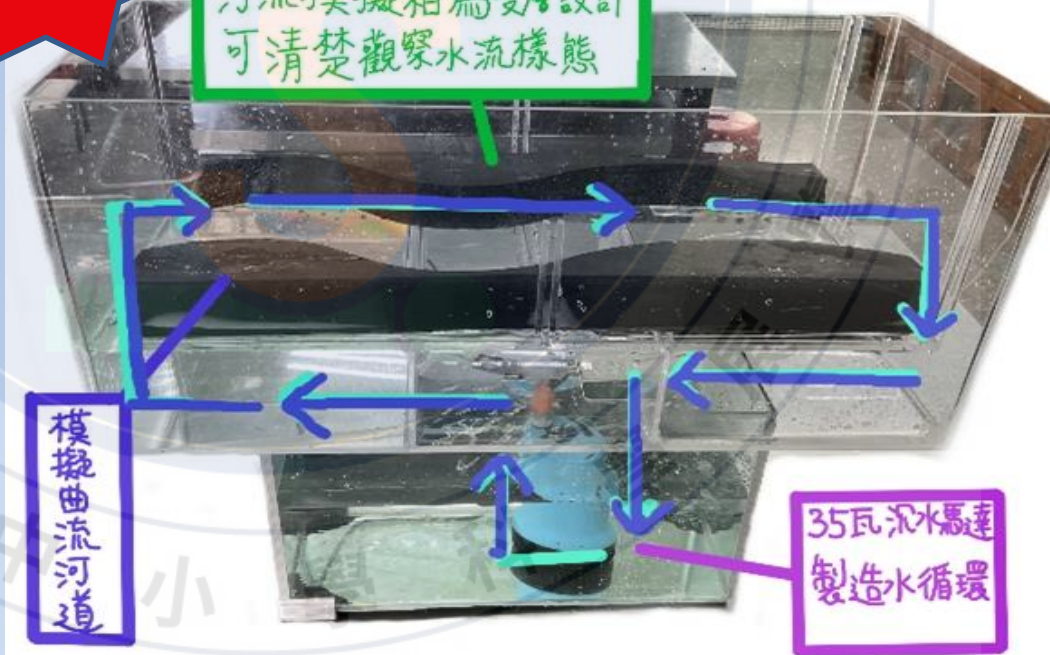
[ 第一代河流模擬箱 ] 塑膠製箱體**水流由上往下流動較不穩定**，也易造成水資源浪費。



[ 第二代河流模擬箱 ] 用木板DIY自己黏合，水流由下往上穩定。但**木板接縫會滲水**，修補費時。

NO.1

河流模擬箱為雙層設計  
可清楚觀察水流樣態



模擬曲流河道

35瓦沉水馬達  
製造水循環

[ 第三代河流模擬箱 ] 用壓克力黏合，水流由下往上水循環效果好。密合度佳不滲漏，四面環景能夠清楚觀測水流擾流和攔截狀況。

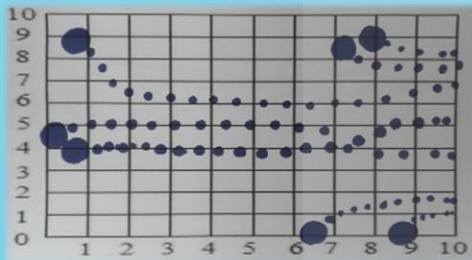
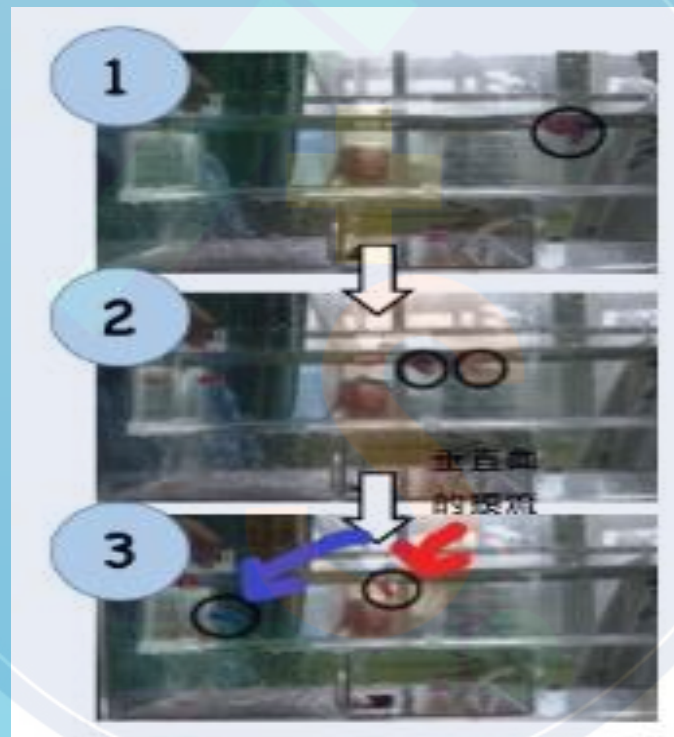
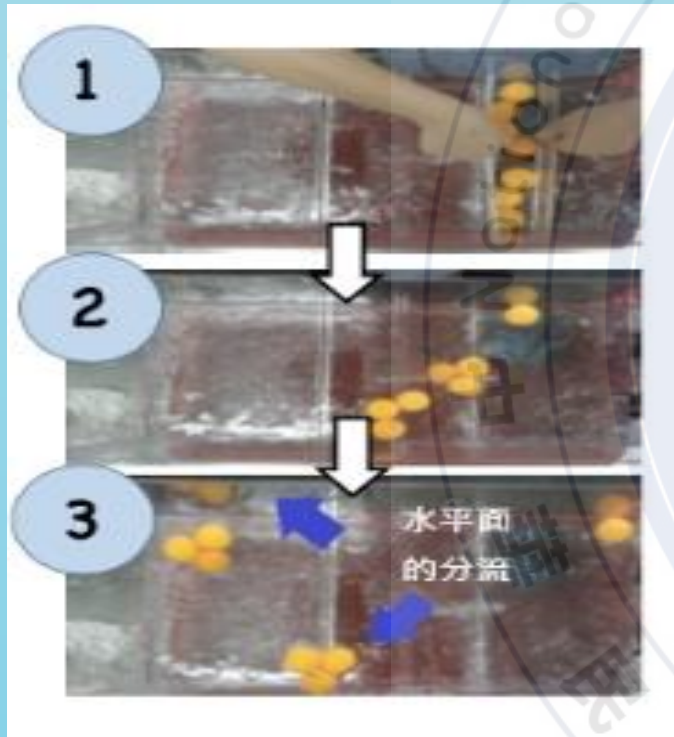


# 研究結果-模擬箱的水流軌跡

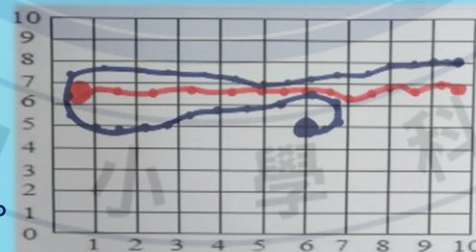
水平面水流的分流

垂直面水流的擾流

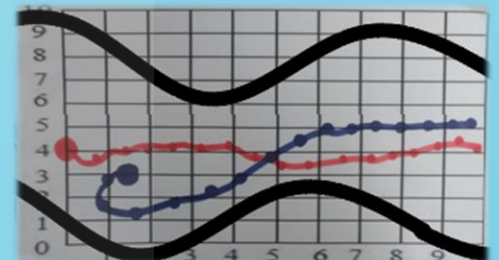
曲流河道的回流



用電腦回放水流影片，將投影片在螢幕上描點。



觀察分流、擾流、回流的不同樣態。





# 研究結果-攔截垃圾裝置與水流關係

我們關切河流的塑膠垃圾汙染問題後，發現「**水流方向和擾流狀態**」是影響河流中攔截塑膠垃圾裝置的重要因素，所以探究攔截裝置和水流的關係，以提升攔截效能。



在單側岸邊，用攔截索連結垃圾清除船。



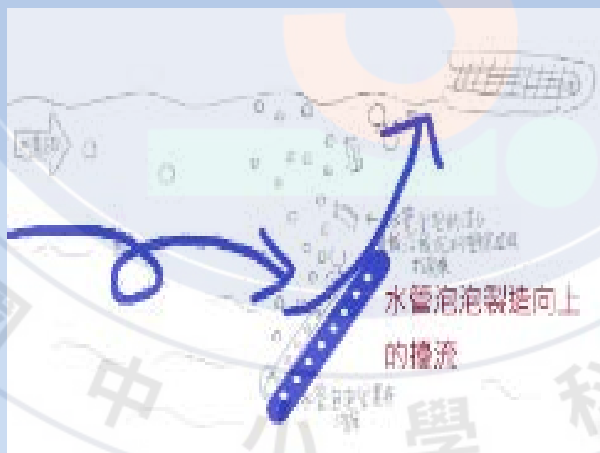
在河底放置多孔洞的水管，利用馬達產生泡泡。



放置垃圾清除船開口在凹岸位置攔截。



攔截索**改變水流分流**，使塑膠垃圾流入船體。



水管泡泡製造**向上的擾流**，將沉底的塑膠垃圾往上帶。



利用**曲流河道中回流**的堆積現象增加攔截率。



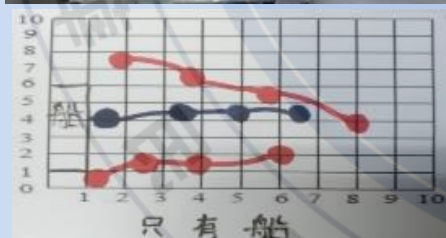
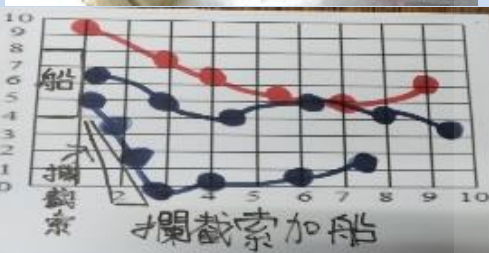
# 研究結果解釋-攔截索與水管泡泡

## 2.水管泡泡與垂直的水流擾流有關

### 1.攔截索與水平面水流的分流有關

實驗組:有攔截索  
連結垃圾清除船

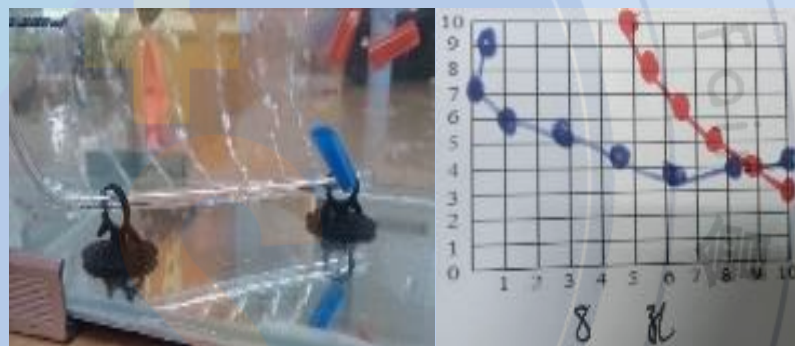
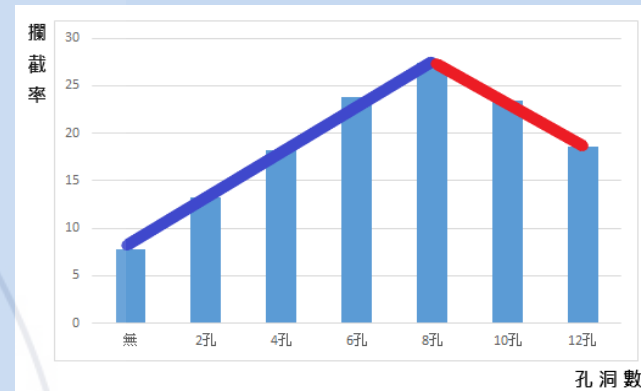
對照組:無攔截索  
連結垃圾清除船



攔截索改變水平面水流的分流，使垃圾順著攔截索流入船體。

沒有改變水平面水流的分流，有些塑膠垃圾就會從兩側流走。

項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排序
無水管泡泡	7°	6°	9°	8°	9°	7.8°	7°
2孔水管泡泡	14°	16°	11°	13°	12°	13.2°	6°
4孔水管泡泡	20°	18°	20°	17°	16°	18.2°	5°
6孔水管泡泡	22°	23°	24°	27°	23°	23.8°	2°
8孔水管泡泡	25°	28°	25°	29°	30°	27.4°	1°
10孔水管泡泡	21°	24°	20°	25°	27°	23.4°	3°
12孔水管泡泡	19°	18°	21°	18°	17°	18.6°	4°



8孔的擾流效果較佳



10孔的擾流有回流

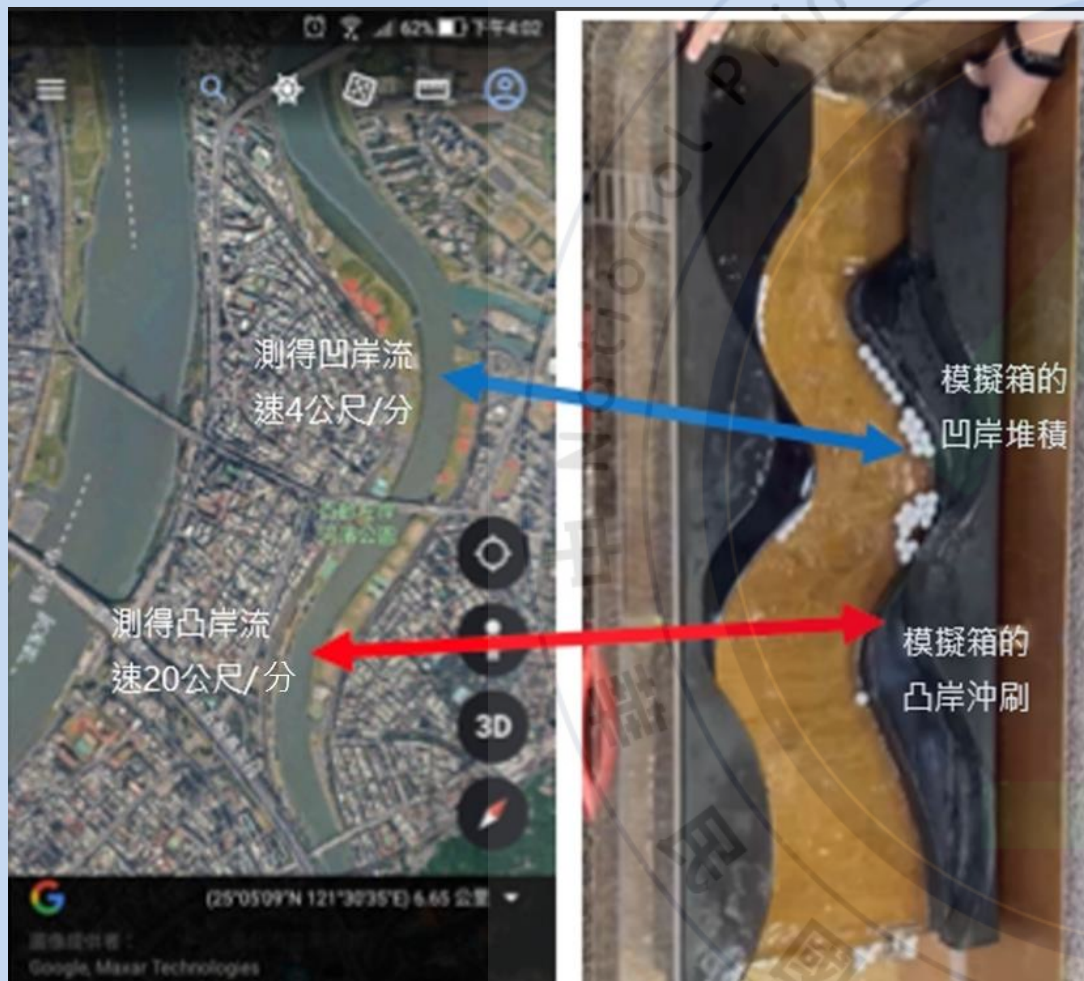
1.水管泡泡製造的擾流能將沉底的塑膠垃圾帶往河流表面。

2.水管泡泡的孔洞數會影響水流的力量，實驗中發現8孔能造較佳向上的擾流，攔截率是無水管泡泡的3.5倍。

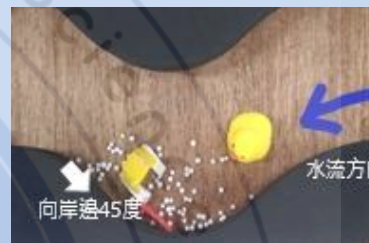
3.10孔以上的擾流往上的水流力量減弱，造成表面水流有回流現象反而不利攔截塑膠垃圾。



# 研究結果解釋-曲流河道與回流有關



1. 凹岸水流較慢，且有水流的回流，易攔截到堆積的塑膠垃圾。
2. 凸岸水流較快，漂浮的塑膠垃圾易沖走，不易攔截到。
3. 曲流河段的4個取樣點，以凹岸向岸邊45度角的位置的攔截率31.6%最好，是凸岸頂部4.8%的6.6倍。

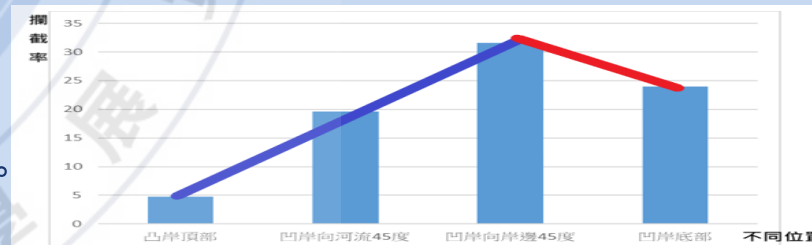


實驗組：  
凹岸向岸邊45度



對照組：  
凸岸平行於河流

項目	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	排序
凸岸頂部	2	5	6	5	4	4.8	4
凹岸向河流45度	18	21	18	19	22	19.6	3
凹岸向岸邊45度	35	28	32	34	29	31.6	1
凹岸底部	22	25	23	26	24	24.0	2

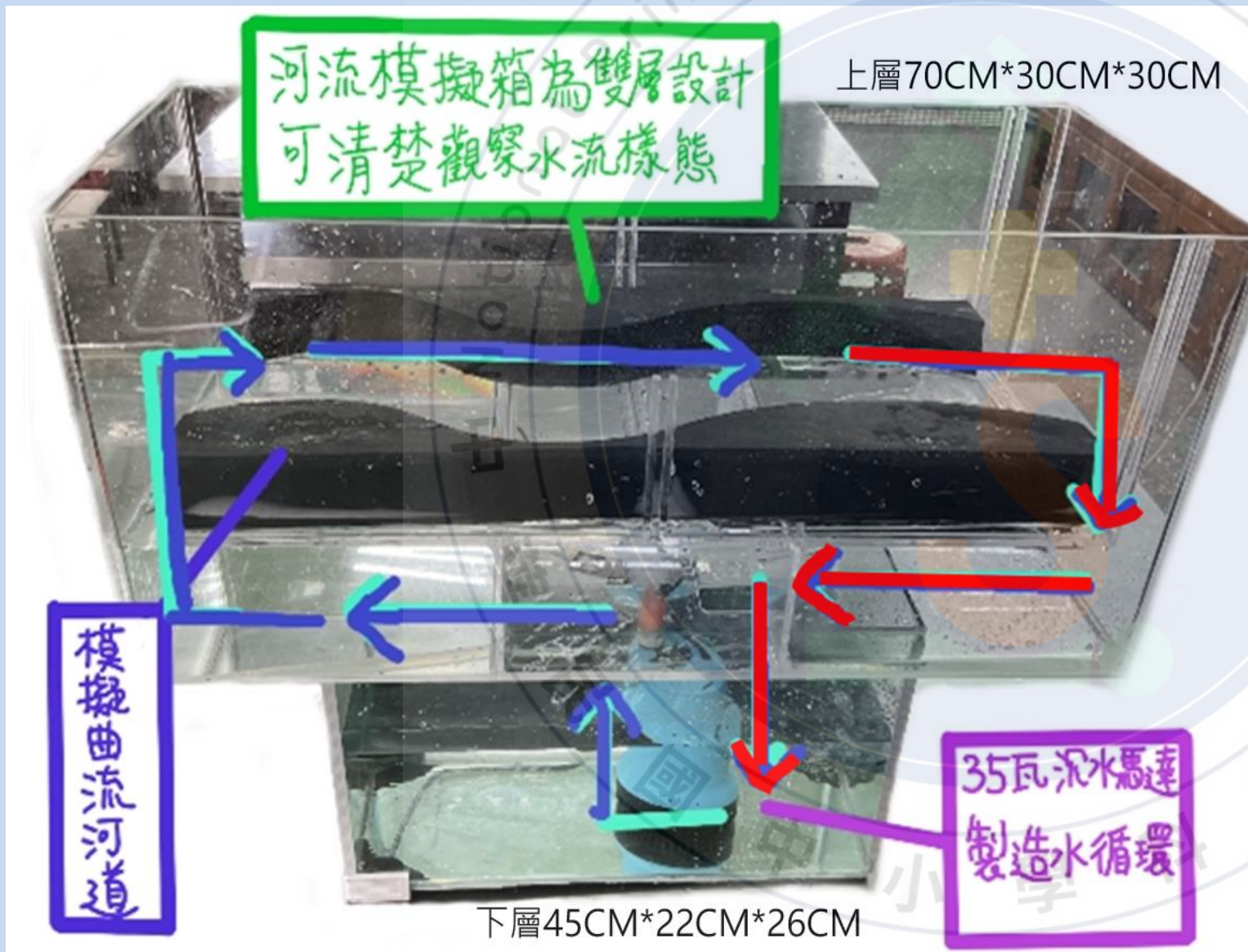


探究曲流河道與攔截率

※另外在風向及風速的研究中，發現也會影響表面的水流流向，在東北季風的冬季以及強風季節(9-3月)攔截效能較佳。



# 結論-建構具有水循環功能的河流模擬箱



河流實驗模型一般大且昂貴。我們成功縮小河流模型，利用強力沉水馬達製造接近河流流速的水循環箱。從微型的河流模擬箱可清楚觀察到水流狀態，發現「水流方向和擾流」是影響河流攔截塑膠垃圾的重要因素，找出水流的不同影響，更精準的設計攔截的裝置。

※河流模擬箱的優點：

1. 成功縮小河流的模型，能以進行微型實驗。
2. 使用雙層設計河道，水流由下往上，水循環穩定。
3. 很環保，避免水資源浪費。

# 結論-探究與水流關係，設計攔截裝置

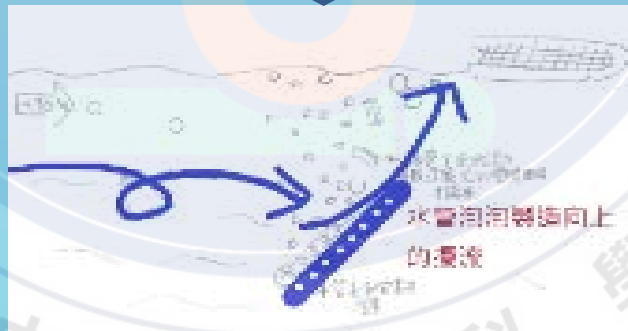
- 1. 探究「河道水平面水流的分流」，設計攔截索連結垃圾清除船能改變分流的方向，增加攔截效能。
- 2. 探究「河道垂直面水流的擾流」，設計多孔數的水管泡泡裝置，產生向上的擾流，將沉底的塑膠垃圾帶往水面，增加攔截效能。
- 3. 探究「曲流河道水流的回流」，設計在凹岸較佳位置擺放攔截索連結垃圾清除船，增加攔截效能。

發現水平面水流的分流



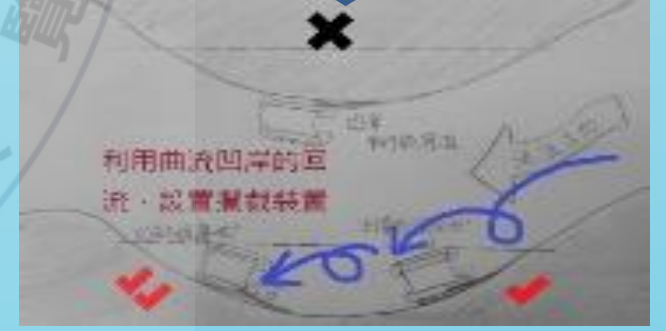
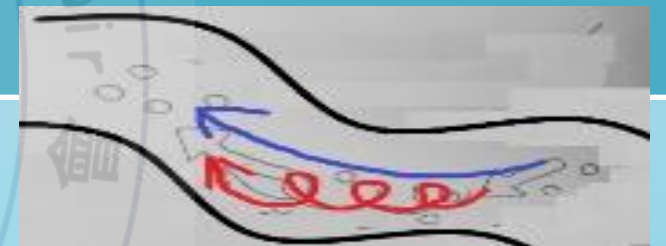
攔截索連結船能改變水流的分流增加攔截效能

發現垂直面水流擾流



水管泡泡能製造向上的擾流，將沉底塑膠垃圾帶到水面增加攔截效能

發現曲流河道的回流



在凹岸設置攔截索連結船，利用回流的堆積作用增加攔截效能



# 未來研究 方向

## 潮汐與水流的 關係

我們勘察的淡水河下游段，有河水回流的情況。我們查資料得知，河水的水位、流速等有顯著的週期性變化的河段，稱為感潮河川(Tidal river)。漲潮時會使較輕的塑膠垃圾回流，而退潮時應有助於塑膠垃圾往下游流動，值得我們繼續探究。

## 到河川 實際測試

到河流裡實際測試我們的河流攔截裝置，將會有更大的挑戰：計劃拜訪環保署和河川管理局，提出實際在淡水河提升攔截塑膠垃圾效能的可行性。

# 參考 資料

\*淡水河流速、流量等相關現地量測資料來源：

1. 磺港溪壓力箱涵防淤改善委託規劃工作(2022)，國立台灣大學。
2. 淡水河流域水文測站經常性維護及全潮流量測驗工作(2021)，經濟部水利署第十河川局。

\*塑膠垃圾污染資助來源：

3. 陳文姿(2017年06月30日)。淡水河全球第16髒。環境資訊中心。
4. 胡介申、徐筱珺(2020年11月11日)。乾淨的河、湛藍的海 - 河流流域廢棄物快篩調查成果。荒野保護協會。