

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

第一名

080501

離家五百哩－臺灣海漂垃圾與洋流關係動態模擬之研究

學校名稱：臺中市西區大同國民小學

作者： 小五 謝孝求 小五 蕭意苓 小五 張子郡 小五 張子曜	指導老師： 呂意仁 陳映均
---	---------------------

關鍵詞：洋流、海漂垃圾

得獎感言

疫情下的科學研究

去年九月，我們在新聞上看到基隆八斗子漁港海漂垃圾很多，開啟了我們研究海漂垃圾與洋流關係的想法。為了進一步了解海漂垃圾造成的問題，對生態和食物鏈的影響，以及海漂垃圾來自哪裡，我們便在老師的指導下展開科學研究。

實驗的過程中，我們遇到了很多困難，尤其在製作動態模擬模型時，我們為了要製作出實際的海底地形，用了保麗龍和水泥來塑形，花了非常多的時間設計和規劃。接著在水缸灌水的時候，還要克服浮力的問題，才能將台灣模型固定在中間。經歷了一次次的失敗，最後終於成功的模擬出台灣周邊的海底地形與洋流、海漂垃圾，看到海漂垃圾在水面上成功移動，真的是超感動的。

此外，我們為了降低實驗誤差，製作了一個超大的水缸，每一次在移動的時候都是一大工程，結束實驗後要把水倒乾也要花很多的時間。我們終於體認到每一位科學家的研究，都是花了很多的心血和時間財產出，真的是彌足珍貴。

雖然遇到的許多的困難，但我們透過團結合作，解決問題，讓我們覺得很有成就感。老師也都會在一旁提點，適時的給我們指導和鼓勵，真的很謝謝老師，有他們才成就今天的我們！

回想起一路的比賽過程，其實有一點困難，因為一路上要過關斬將，經過校內篩選、市賽初審和複審，才能進入全國賽。其中，最刺激的是評審提問，我們很擔心被問倒，所以平時練習時就一直互相提問做準備。而且今年因為疫情的關係，全國賽無法到嘉義進行比賽，評審也改為線上評審。所以除了老師規劃的練習時間外，我們還會利用自己的課餘時間進行練習，希望能做全完善的準備，才能有佳的表現。

最後，我們一起分享結果、面對困難，並發揮團隊精神，拿下這份榮耀。再次感謝老師辛苦的指導和組員默契的合作。我們也深切的意識到海漂垃圾是一個很有價值的議題，因為台灣四面環海，海洋與我們密不可分，每個人如果都能留意這樣的議題，才能讓環境永續美好。



製作台灣周邊海底地形模型



進行海漂垃圾模擬實驗



參加全國賽線上複審

摘要

本研究主要用動態模擬實驗了解海漂垃圾移動路線和分布情形，並與調查資料比對，深入了解臺灣出現大量海垃圾的地點和成因。研究結果發現，溫度、鹽度和風是造成洋流流動的因素。臺灣周邊的洋流會使垃圾在洋流會合處呈現帶狀分布。海漂垃圾會受海底地形影響，水深較淺的西部大陸棚會使垃圾移動速度變慢，堆積情形明顯。且季風對海漂垃圾的影響甚鉅，不同季節會使垃圾堆積於西部和北部，尤其秋冬時更明顯。出海口的海漂垃圾也受季風擴大堆積範圍，且颱風季節影響最大。與調查資料比對後發現，北部海岸、西南海岸為海廢熱區，花東海岸較為乾淨。未來希望再做細部模擬，得到更多海漂垃圾移動和堆積的相關資訊，以利未來進行海漂垃圾的攔截或清運。

壹、研究動機

2018年5月21日的一則新聞，基隆八斗子驚現「洋流垃圾」外海出現大批布袋蓮，底下夾帶大量垃圾，當地漁民研判可能是日前南部豪雨，把垃圾沖入海中被洋流帶到北部來，不僅影響景觀也造成碧砂漁港漁船進出困難，顯示「洋流垃圾」的影響越來越嚴重。臺灣海洋四面環海，海岸環境與我們密不可分，近年來「洋流垃圾」問題令人擔憂。因此，我們希望透過探討洋流的形成原因，進一步實驗模擬洋流在臺灣周邊流動的情形，以了解洋流對海漂垃圾的影響和海漂垃圾在臺灣海域的汙染現況。

貳、研究目的

- 一、探討洋流的形成原因
 - (一) 不同溫度的水體相遇後的流動情形
 - (二) 不同溫度水體流動速度的差異
 - (三) 不同鹽度水體流動速度的差異
 - (四) 風力與風向造成表面水體流動的情形
- 二、模擬外來海漂垃圾在臺灣沿岸的移動路線和分布情形
 - (一) 探討「北方海域」垃圾在臺灣四周的移動路線和分布情形
 - (二) 探討「南方海域」垃圾在臺灣四周的移動路線和分布情形
- 三、海底地形對海漂垃圾在臺灣沿岸移動路線和分布情形的影響
- 四、模擬不同季節洋流流動情形與海漂垃圾之關係
 - (一) 探討「秋冬季節」海漂垃圾移動路線影響和分布情形
 - (二) 探討「春夏季節」海漂垃圾移動路線影響和分布情形
- 五、臺灣出海口垃圾在洋流影響下的移動路線和分布情形
- 六、動態模擬結果與臺灣海漂垃圾調查資料之比對

參、研究設備與器材

實驗設備與器材



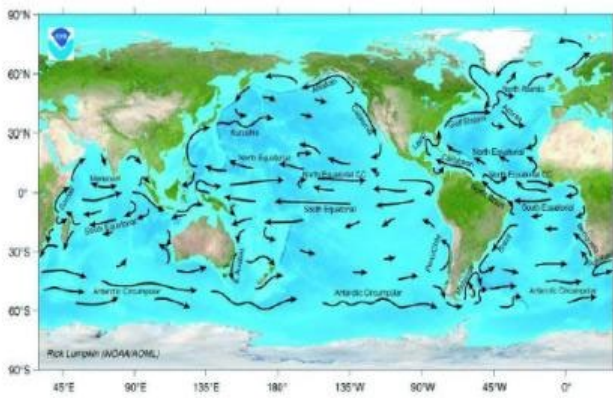
水槽(200cm×150cm×25cm)	水缸(45×30×15m)	珍珠板
麥克筆	60cm 長尺	染色顏料
牛皮紙	防水膠帶	食鹽
量筒	水桶	冰塊
加熱棒	沉水馬達	平板電腦
噴漆	砝碼	保麗龍球
風扇	篩網	溫度計
保麗龍膠	水泥	水管

肆、研究過程及方法

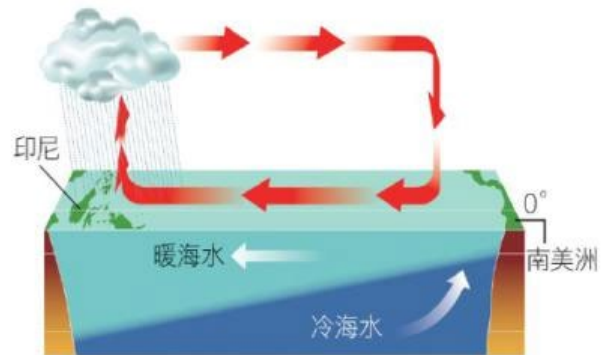
一、文獻探討

(一) 洋流 (ocean current)

洋流是指大洋海水相對穩定的流動，是海水最重要運動形式之一（如圖一 全球洋流分佈圖）。洋流一般是三維的，即不但在水平方向流動，而且在垂直方向上也存在流動。由於海洋水平流動距離的空間尺度遠遠大於其垂直尺度，因此水平方向的流動遠比垂直方向上的流動強得多。習慣上把海流的水平運動分量狹義地稱為洋流，風吹是影響表層海水運動的主要力量。而其垂直分量單獨命名為上升流和下降流，主要是受到海水密度、溫度、摩擦力、科氏力以及海底地形的影響（如圖二）。



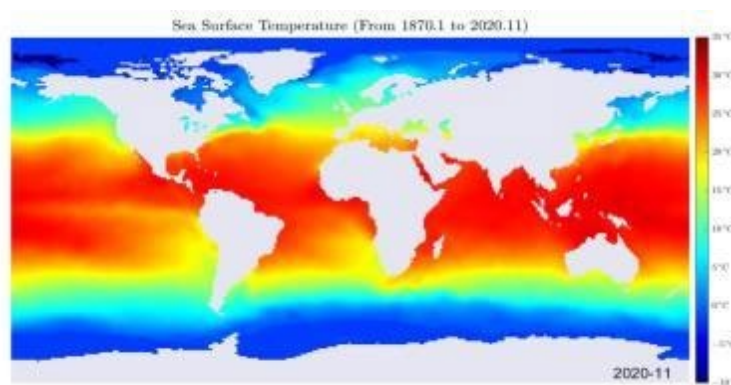
圖一



圖二

(二) 海水溫度：

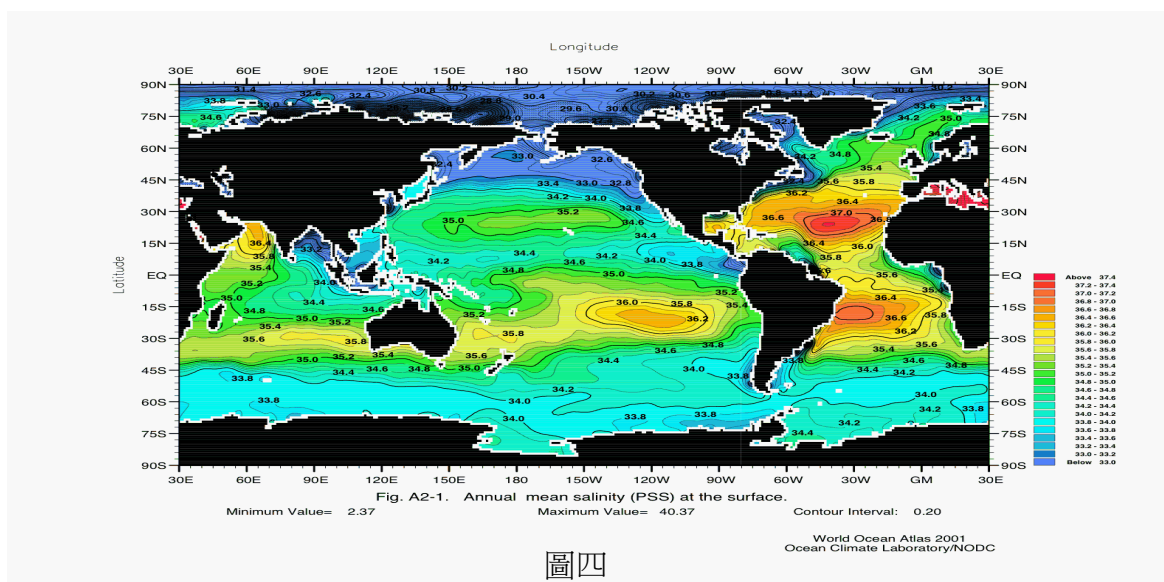
海水的溫度分布。表面海水的溫度主要取決於太陽輻射，表面水溫的分布一般是以緯度線分區（如下圖三），低緯度的海面水溫高，最高可達 30°C 左右，高緯度水溫低，最低約 0°C。海水溫度也隨深度增加而降低，500 公尺深的海水溫度約為 8°C，1,000 公尺深約為 2.8°C，全球海洋的海水平均溫度為 3.5°C 左右。



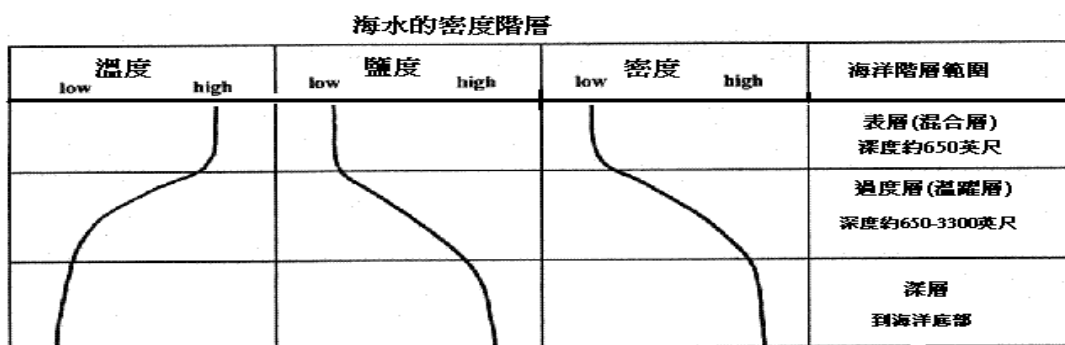
圖三

(三) 海水密度：

海水的密度會隨溫度、鹽度、壓力而變化。海水鹽度的分佈不均，主要受到日照、地形等影響（如圖四）。由於壓力與深度相關，對同一深度而言，海水的密度隨溫度和鹽度而變化，連帶牽動海水的運動（如圖五）



圖四

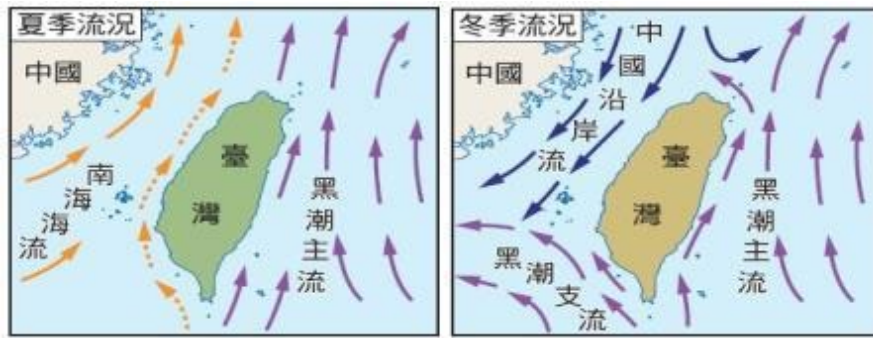


圖五

(四) 臺灣周圍的洋流

北赤道洋流流經菲律賓時，有一支向北流動，通過臺灣的東部，一直流往日本的琉球、四國和本州，這分支的洋流就是「黑潮」。因為黑潮從低緯度流向高緯度，海水的溫度高於流經的海域，屬於「暖流」。瑰麗的鸚鵡螺雖然產於南太平洋，因為黑潮向北流動的關係，因此空殼得以流浪到臺灣東部。黑潮引發底層低溫的海水向上流動，帶起底層豐富的營養鹽，因此產生大量的浮游生物。

臺灣夏天吹西南風，助長南方來的暖流；冬天吹東北季風，來自北方的大陸沿岸流得以到達臺灣中部（如圖六）。冬季時這兩股溫度不同的洋流（黑潮的支流以及大陸沿岸流）就在西部的雲林、彰化外海一帶相持不下，水溫大約是攝氏 20-22 度。到了春季，東北季風勢力減弱，大陸沿岸流向北方退去，黑潮的支流乃越過雲彰隆起。夏季時分，南海表層流勢力增強，取代了黑潮的支流進入臺灣海峽。秋季時分，東北季風吹起，大陸沿岸流又向南進入臺灣海峽。一年四季，西部的洋流就在季風的推波助瀾下不斷的角力（如圖六）。

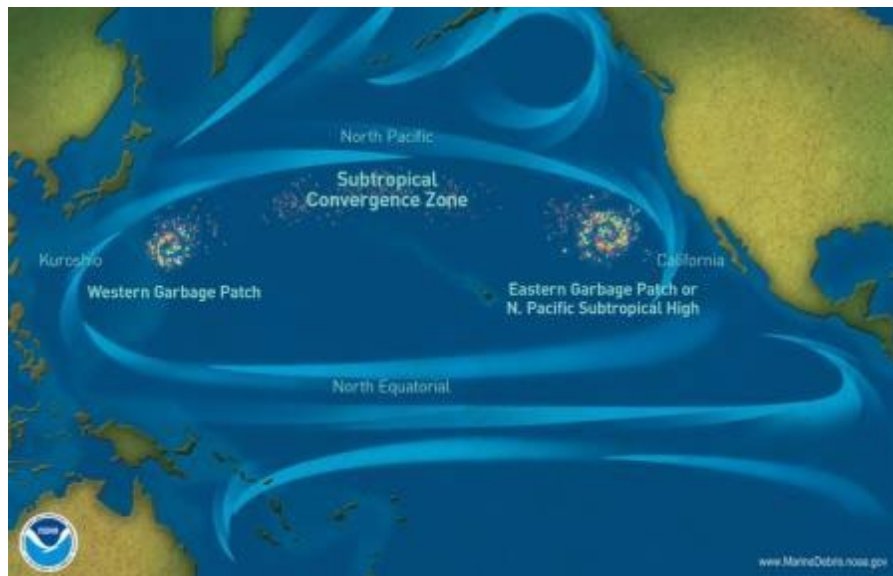


圖六

(五) 洋流與海漂垃圾

有研究指出黑潮從臺灣開始洶湧北上，大量的熱帶溫暖海水，劃一道線流經日本及阿拉斯加東南沿海，再沿著美國西北海岸南下，同時，從西伯利亞吹來的強勁海風（相當於大西洋上從北極吹到北美的強風），把太平洋沿岸的船隻和其他漂浮物推進黑潮裡（如圖七）。

因此，臺灣位處北太平洋洋流的環境之中，曾經有研究發現在北臺灣四個沙灘：沙崙、白沙灣、外木山與福隆發現了微塑膠的蹤影。臺灣海灘被微塑膠入侵的嚴重度，和韓國、香港、英國、葡萄牙及南美洲相似。而對照聯合國海洋科學專家組在 2015 年畫出的微塑膠影響推估圖，臺灣處於分布最密的「紅帶海域」，是密度最高的一級。



圖七

二、製作臺灣附近海域洋流模擬模型

【做法一】運用溫度差模擬洋流

(一) 實驗步驟

1. 製作臺灣模型黏貼固定於水槽中央。
2. 在水缸前端加入沉底冰塊製造出低溫水流，在水缸後端增加加熱器製造出高溫水流。
3. 在水缸內注水至 20 公分。
4. 低溫處滴入藍色墨水，高溫處滴入紅色墨水。

5.觀察墨水移動速度，記錄水流的流速。

(二) 實驗結果

- 1.可形成對流，但長時間流速無法一致。
- 2.水流速度過慢，無法確實模擬臺灣周圍之洋流。







【作法二】運用溫度差及沉水馬達模擬洋流

(一) 實驗步驟

- 1.製作臺灣模型
- 2.將模型黏貼固定於水槽中央。
- 3.在水缸內注水至 20 公分。
- 4.在水缸前端加入沉底冰塊製造出低溫水流，在水缸後端增加加熱器製造出高溫水流。
- 5.前後端置入沉水馬達控制流速。
- 6.低溫處滴入藍色墨水，高溫出滴入紅色墨水。
- 7.觀察墨水移動速度，記錄水流的流速。

(二) 實驗結果

- 1.可確實模擬親潮和黑潮，流速可藉由沉水馬達進行控制。
- 2.在水槽四周加上風扇，可模擬臺灣周圍海域風場(東北季風和西南季風)，形成水面波動，進一步了解風場對海漂垃圾的影響。

製作臺灣模型	黏貼模型	鋪設方格紙於水槽底部
		
沉底冰塊製造出低溫水流	沉底冰塊製造出低溫水流	攝影機記錄海漂垃圾移動情形
		

【作法三】加入海底地形與季風風場

(一) 實驗步驟

1. 利用珍珠板鋪設海底地形坡度與海底山脈
2. 灌注水泥製作出臺灣周邊海底地形，如大陸棚、海槽、島弧。
3. 將臺灣固定於海底地形上方，切割出河川海口，標註主要河流名稱。
4. 依海底地形深淺進行噴漆，以方便觀察。
5. 水缸前端加入沉底冰塊製造出低溫水流，在水缸後端增加加熱器製造出高溫水流。
6. 前後端置入沉水馬達控制流速
7. 在東北及西南方架設電扇，加入季風風場，製造吹送流。



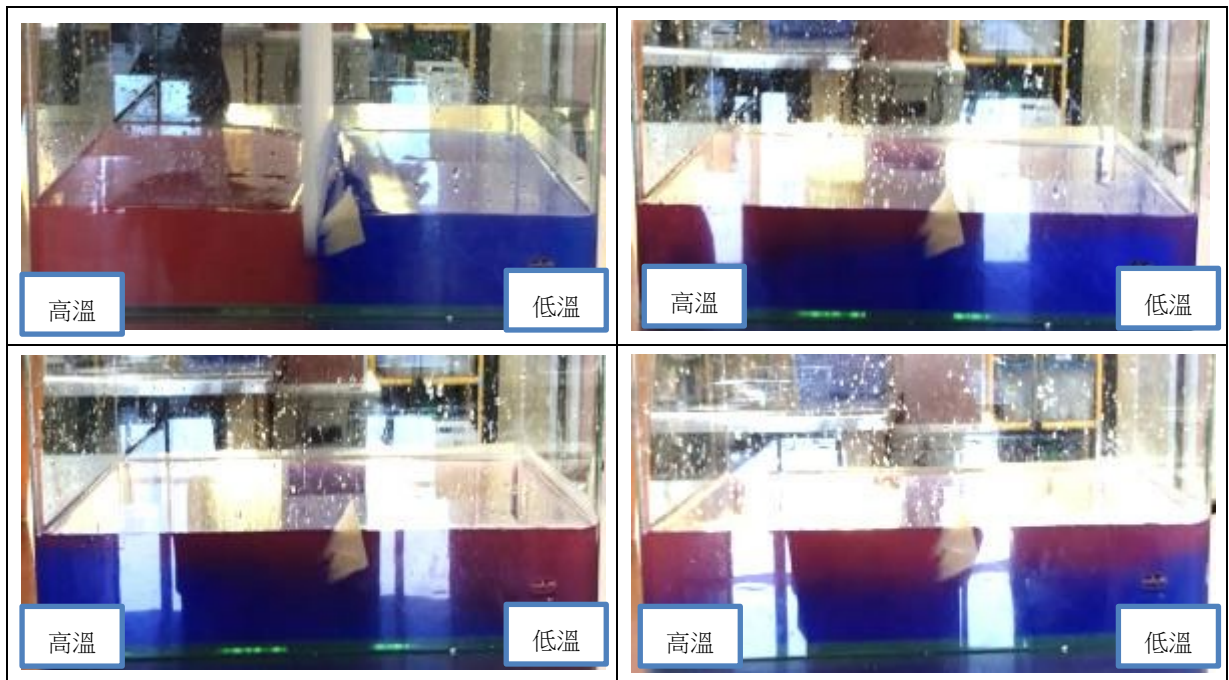
伍、研究結果與討論

一、不同溫度的水體相遇後的流動情形

(一) 實驗步驟

- 1.以兩種不同溫度差的水體做實驗，溫度差為 0°C 、 5°C 、 10°C 、 15°C 。
- 2.將模擬不同溫度的水倒入分隔箱中。
- 3.水溫較高染色紅色，水溫較低染色藍色。
- 4.接著將中間的分隔板拿開後，不同溫度的水則開始流動。
- 5.將攝影機架於水缸前拍攝，拍攝後影像使用iMovie軟體逐一檢視影格，進行分析。
- 6.記錄最後上下分層的所需時間。

(二) 實驗結果



溫差	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
0°C	X	X	X	X	X	X
5°C	03:20	03:01	03:42	03:21	03:54	03:27
10°C	02:35	02:46	02:14	02:16	02:44	02:31
15°C	01:46	01:57	02:00	01:34	01:50	01:49

(三) 研究討論

- 1.由實驗結果可以發現水溫愈低，密度愈大，會下沉到水箱的最底部；反之水溫高則密度小，會漂浮在水箱的表面。
- 2.水溫差為 0°C 未呈現上下分層
- 3.水溫差為 5°C 、 10°C 、 15°C 皆出現上下分層，且皆為紅色高溫水在上，藍色低溫水在下。
4. 5°C 、 10°C 、 15°C 上下分層中間出現紫色混合層，溫差越接近紫色混合層越大。
- 5.靜止一段時間後，會形成一團密度相近的水團。

◆ 進階實驗：三種不同溫度的水體相遇後的流動之情形

(一) 實驗步驟

- 1.以三種不同溫度的水體做實驗，溫度為10°C、20°C、30°C。
- 2.將模擬不同溫度的水倒入三格分隔箱中。
- 3.10°C 染色藍色，20°C 染色綠色，30°C 染色紅色。
- 4.接著將中間的分隔板拿開後，不同溫度的水則開始流動。
- 5.將攝影機架於水缸前拍攝，拍攝後影像使用iMovie軟體逐一檢視影格，進行分析。
- 6.記錄最後上下分層的所需時間。

(二) 實驗結果

三種不同溫度的水相遇後，發現到水溫愈低，密度愈大，會下沉到水箱的最底部；反之溫度最高 30°C 的水，密度最低，漂浮在水箱的表面。因此我們能夠瞭解到海水密度決定海水在海洋中的鉛直位置，密度大的海水會下沉至密度小的海水下方。當靜止一段時間後，一團密度相近的海水形成，會成為所謂的水團。

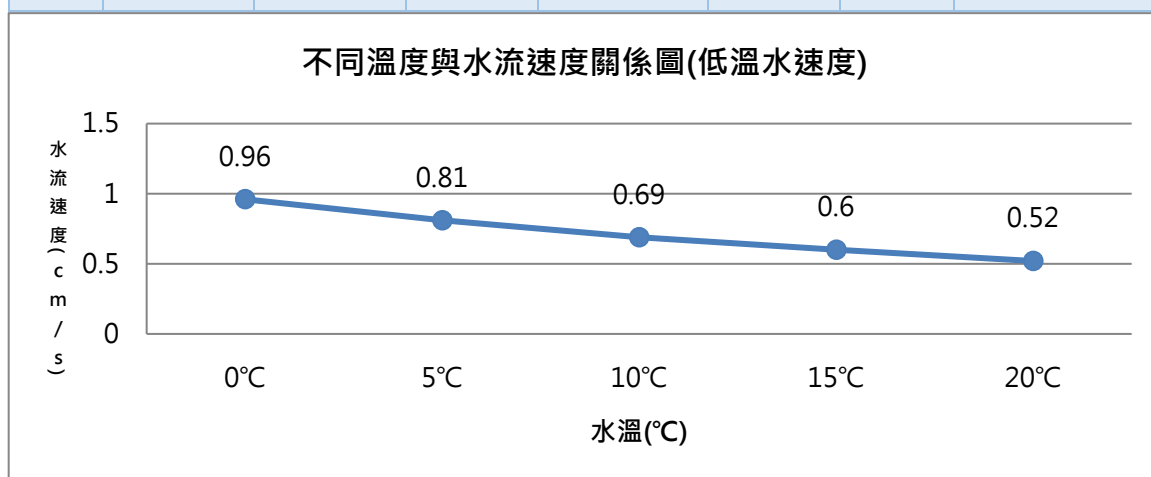
二、不同溫度水體流動速度的差異

(一) 實驗步驟

- 1.調製海水溫度設定為30°C的海水，染色紅色，倒入水缸左側。
- 2.不同溫度(0°C、5°C、10°C、15°C、20°C)的水，染色藍色，分次倒入水缸右側。
- 3.接著將中間的分隔板拿開後，不同溫度的水則開始流動。
- 4.測量不同溫度之水進入到30°C的水中所需時間及其流速。
- 5.將攝影機架於水缸前拍攝，拍攝後影像使用iMovie軟體逐一檢視影格，進行分析。
- 6.記錄最後紅色水抵達左側水缸壁所需時間。

(二) 實驗結果

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	速度(cm/s)
0°C	46	48	47	48	46	47	0.96
5°C	56	55	55	59	54	55.8	0.81
10°C	62	65	66	68	64	65	0.69
15°C	74	70	76	74	78	74.4	0.60
20°C	85	86	84	88	88	86.2	0.52



(三)研究討論

- 1.實驗結果，洋流的溫度差愈大，流速就愈快。0°C的水進入溫度 30°C 水中流動最快，所需平均時間為 47 秒，平均流速 0.96(cm/sec)；20°C的水進入溫度 30°C 水中流動最慢，所需平均時間為 86.2 秒，平均流速 0.52 (cm/sec)。
- 2.低溫水進入高溫水時，低溫水會由水缸底部移動，呼應【實驗一】之實驗結果。

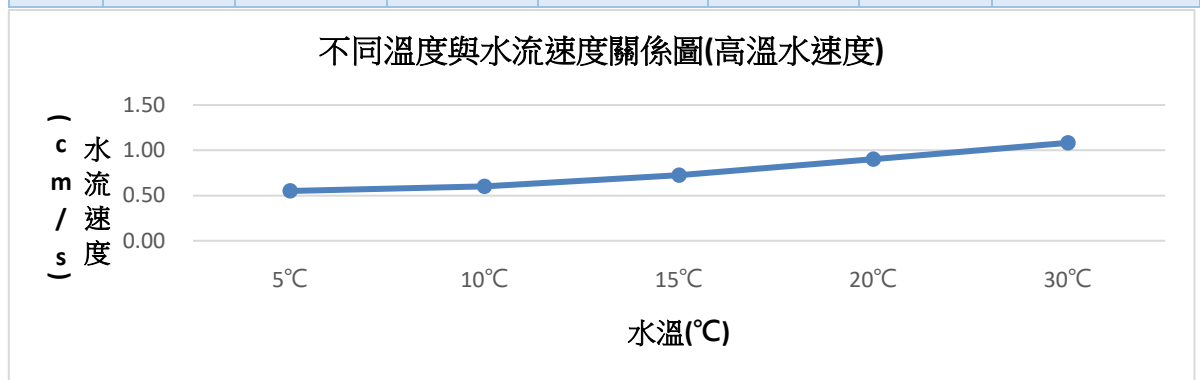
◆ 進階實驗：高溫水體的流動速度

(一) 實驗步驟

- 1.調製海水溫度設定為0°C的海水，染藍色，倒入水缸左側。
- 2.不同溫度(5°C、10°C、15°C、20°C、30°C)的水，染色藍色，分次倒入水缸右側。
- 3.接著將中間的分隔板拿開後，不同溫度的水則開始流動。
- 4.測量不同溫度之水進入到0°C的水中所需時間及其流速。
- 5.將攝影機架於水缸前拍攝，拍攝後影像使用iMovie軟體逐一檢視影格，進行分析。
- 6.記錄最後紅色水抵達左側水缸壁所需時間。

(二) 實驗結果

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	速度(cm/s)
5°C	79	82	83	84	81	81.8	0.55
10°C	71	72	71	74	70	71.6	0.63
15°C	64	60	63	61	62	62	0.73
20°C	48	50	51	49	52	50	0.90
30°C	42	40	41	43	42	41.6	1.08



(三)研究討論

- 1.實驗結果，洋流的溫度差愈大，流速就愈快。30°C的水進入溫度 0°C 水中流動最快，所需平均時間為 41.6 秒，平均流速 1.08(cm/sec)；5°C的水進入溫度 0°C 水中流動最慢，所需平均時間為 81.8 秒，平均流速 0.55 (cm/sec)。
- 2.高溫水進入低溫水時，低溫水會由水層上方移動，呼應【實驗一】之實驗結果。
- 3.由實驗結果可知，溫差相同時，上方水流移動速度較快，底部水流速度較慢。

三、不同鹽度水體流動速度的差異

(一) 實驗步驟

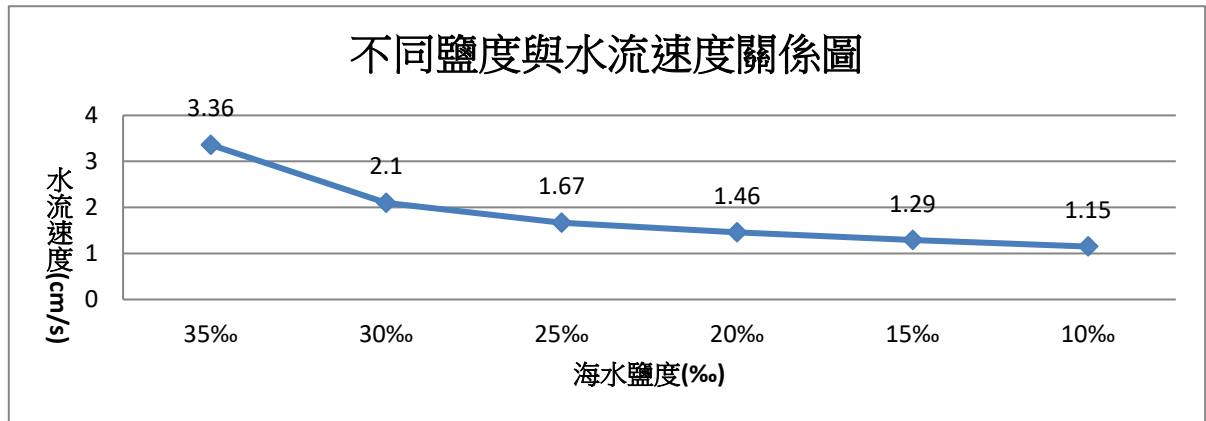
- 1.以兩種不同鹽度的水體做實驗，鹽度為10‰、15‰、20‰、25‰、30‰、35‰。
- 2.將鹽度10‰、15‰、20‰、25‰、30‰、35‰的水倒入分隔箱右側中，左側裝一般海水鹽

度5‰。

- 3.不同鹽度水染色紅色，海水鹽度5‰染色藍色。
- 4.接著將中間的分隔板拿開後，不同鹽度度的水則開始流動。
- 5.將攝影機架於距水缸前拍攝，拍攝後影像使用iMovie軟體逐一檢視影格，進行分析。
- 6.記錄最後紅色水抵達左側缸壁所需時間。

(二) 實驗結果

次數 鹽度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	速度 (cm/s)
35‰	13	14	12	15	13	13	3.36
30‰	21	23	21	22	21	21	2.10
25‰	26	27	27	27	29	27	1.67
20‰	31	33	30	31	31	31	1.46
15‰	34	36	34	36	35	35	1.29
10‰	38	39	41	41	38	39	1.15



(三) 研究討論：

根據實驗結果，鹽度差越小，流速慢，流動的時間較長；鹽度差越大，流速快，流動的時間較短。

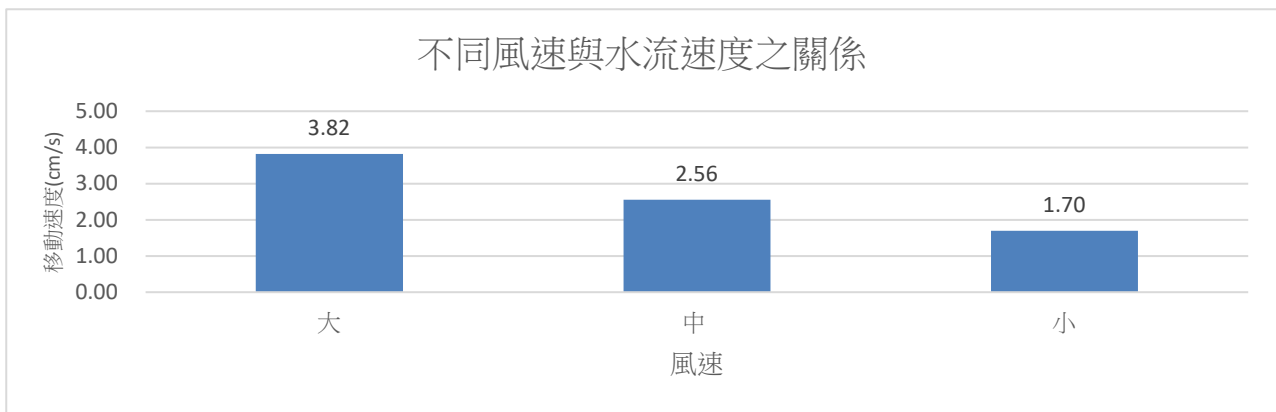
四、風力與風向造成表面水體流動的情形

(一) 實驗步驟

- 1.在水缸注水20公分，分別以風速小、中、大，從水體表面由左側進行吹送。
- 2.在水缸左側放置直徑5mm保麗龍球，觀察保麗龍球移動至水缸右側之移動時間與方向。
- 3.將攝影機架於水缸上方拍攝，拍攝後影像使用iMovie軟體逐一檢視影格，進行分析。

(二) 實驗結果

次數 風速	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	速度 (cm/s)
大	8.01	7.55	8.23	8.01	7.45	7.85	3.82
中	12.05	11.48	12.13	11.59	11.45	11.74	2.56
小	18.01	17.23	17.56	17.44	18.01	17.65	1.70



(三) 研究討論：

根據實驗結果，風可以製造出水體表面的吹送流，且風速越大，水流速越快。而風向會影響表面漂浮物的移動方向，漂浮物的移動方向與風向相同。

五、探討「北方海域」垃圾在臺灣四周的移動路線和分布情形

(一) 實驗步驟

- 1.以【作法二】進行動態模擬。
- 2.以直徑 3mm 保麗龍球模擬海漂垃圾，從東北海域放置海漂垃圾後進行觀察。
- 3.在水槽底部放置格線圖，記錄移動路徑及堆積位置。

(二) 實驗結果

實驗時間	10 分鐘	20 分鐘
實驗結果		
移動路線	M1→L3	L3 分為 2 團至 L6 和 G5
路徑圖		

實驗時間	30 分鐘	40 分鐘
實驗結果		
移動路線	G5 分為兩團。一團開始在 H6 堆積，一團移至 E7 L6 下移至 K7，在 J7 開始堆積	H6、G7、F8 沿岸都有堆積物，B10-E10 出現帶狀的堆積物 K7 下移至 J9 出現帶狀的堆積物
路徑圖	<p>A 17x17 grid with columns A-N and rows 1-17. A yellow map of Taiwan is centered. Black dots representing sediment are clustered at H6, E7, and J7.</p>	<p>A 17x17 grid with columns A-N and rows 1-17. A yellow map of Taiwan is centered. Black dots representing sediment are clustered along the coast and form a horizontal band from B10 to E10.</p>
實驗時間	50 分鐘	60 分鐘
實驗結果		
移動路線	H6、G7、F8 沿岸都都有堆積物，B10-E10 帶狀堆積物部分移至 C12 J7、I8-I10 沿岸都都有堆積物	H6、G7、F8 沿岸都都有堆積物 B10-E10 帶狀堆積物 C12 移至 E11、F12、G12 堆積 J7、I8-I10 沿岸都都有堆積物
路徑圖	<p>A 17x17 grid with columns A-N and rows 1-17. A yellow map of Taiwan is centered. Black dots representing sediment are clustered along the coast and form a horizontal band from B10 to E10.</p>	<p>A 17x17 grid with columns A-N and rows 1-17. A yellow map of Taiwan is centered. Black dots representing sediment are clustered along the coast and form a horizontal band from B10 to E10.</p>

(三) 研究討論

1. 從北方來的海漂垃圾會在接近臺灣地區時分為兩團。
2. 面北的海岸會先開始堆積，西部海岸面北海岸較多，所以堆積速度較快。
3. 東部和西部都有帶狀堆積物出現，東部帶狀堆積物的位置較北，西部帶狀堆積物的位置較南。由此結果可知，臺灣西岸的洋流移動速度較快。
4. 西部海面上的海漂物移動至臺灣西南方海面，會受到南方的洋流影響，轉為北移至高雄、屏東地區的海岸堆積。
5. 西部海漂堆積物的面積明顯大於東部，推測可能是受海岸地形影響。西部海岸坡度較緩，容易累積海漂垃圾。

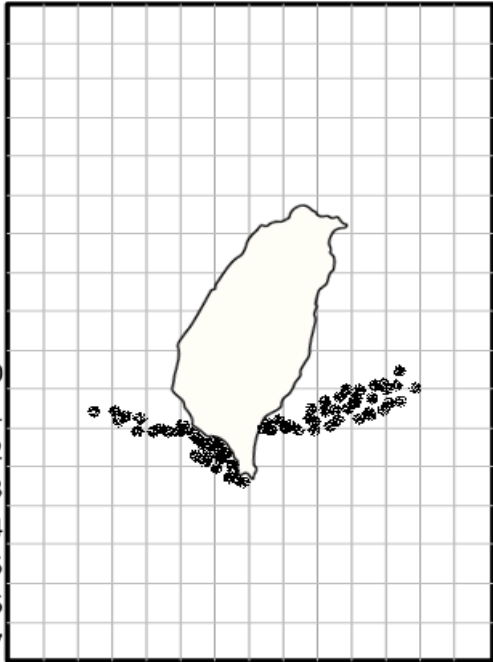
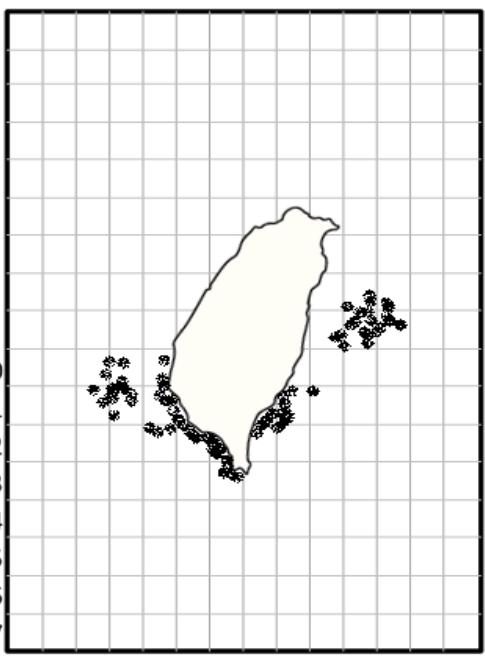
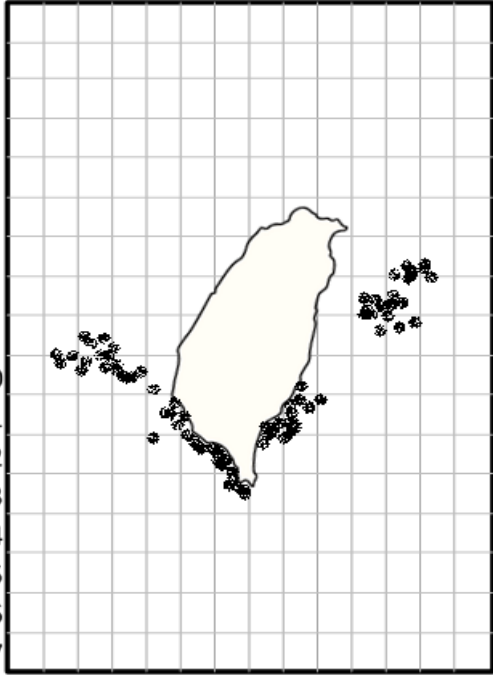
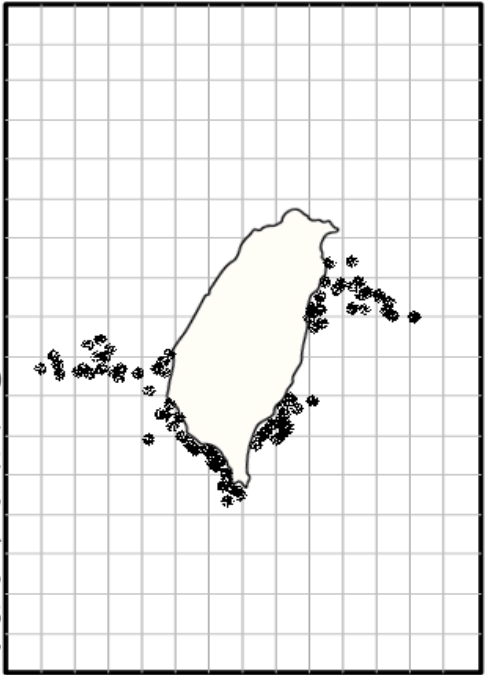
六、 探討「南方海域」垃圾在臺灣四周的移動路線和分布情形

(一) 實驗步驟

1. 以【作法二】進行動態模擬。
2. 以直徑3mm保麗龍球模擬海漂垃圾，從南方海域放置海漂垃圾後進行觀察。
3. 在水槽底部放置格線圖，記錄移動路徑及堆積位置。

(二) 實驗結果

實驗時間	10 分鐘	20 分鐘
實驗結果		
移動路線	G17→F14-J14 靠近臺灣南端出現分團的跡象	F12、G13 開始堆積 G14-KJ14 移至 I13-K13
路徑圖		

實驗時間 實驗結果	30 分鐘	40 分鐘
移動路線	F12、G13 堆積物部分被帶往 C11-E11，呈現帶狀 H11 開始堆積，其他海漂物持續上移	E10-E11、F12、G13 都有堆積 海漂物上移至 K9
路徑圖		
實驗時間 實驗結果	50 分鐘	60 分鐘
移動路線	E10-E11、F12、G13 都有堆積，海漂物移至 C9 海漂物上由 K9 移至 L8	E10-E11、F12、G13 堆積，海漂物在 C9 不動 L8 轉向南移動於堆積於 J7-J8
路徑圖		

(三) 研究討論

- 1.從南方來的海漂垃圾會在接近臺灣南端時分為兩團。
- 2.面南西部海岸會先開始堆積，東部至30分鐘後才開始堆積。
- 3.東部和西部都有帶狀堆積物出現，東部帶狀位置較偏北。
- 4.東部海面上的海漂物移動至臺灣東北方海面，會受到北方的洋流影響，轉為南移至宜蘭地區的海岸堆積。
- 5.由南方來的海漂垃圾主要堆積於南部海岸，東部則多堆積於台東、宜蘭地區。





七、海底地形對海漂垃圾在臺灣沿岸移動路線和分布情形的影響



(一) 實驗步驟

- 1.以【作法三】進行動態模擬。
- 2.以直徑 3mm 保麗龍球模擬海漂垃圾，從南方海域放置海漂垃圾後進行觀察。
- 3.錄影記錄移動路徑及堆積位置



(二) 實驗結果





- 海底地形對北方海域垃圾移動路線的影響

實驗時間 實驗結果	10 分鐘	20 分鐘
路徑圖		
實驗時間 實驗結果	30 分鐘	40 分鐘
路徑圖		

實驗時間	50 分鐘	60 分鐘
實驗結果		
路徑圖		

● 海底地形對南方海域垃圾移動路線的影響

實驗時間	10 分鐘	20 分鐘
實驗結果		
路徑圖		

實驗時間 實驗結果	30 分鐘	40 分鐘
路徑圖		
實驗時間 實驗結果	50 分鐘	60 分鐘
路徑圖		

(三) 研究討論

1. 北方海域的垃圾；

- (1) 往西部海岸移動的垃圾會受臺灣海峽的大陸棚影響，移動速度較緩慢。
- (2) 西部的海漂垃圾會在臺灣海峽大陸棚打轉，垃圾主要集中堆積在大甲溪和曾文溪出海口。
- (3) 往東部海域移動的垃圾進入沖繩海槽後，移動速度加快。部分垃圾會堆積在東部海岸，部分垃圾往臺灣東南方的菲律賓海盆移動。

2. 南方海域的垃圾；

- (1) 南方海域垃圾因海水深度較深，移動速度大於北方垃圾移動速度。

- (2) 部分垃圾會從鵝鑾鼻附近開始堆積，受南方海流影響漸漸往西南方沿岸移動。最後主要堆積於高屏溪出海口。
- (3) 東部海域的海漂垃圾再經過沖繩海槽後，會往東北方移動，進入大陸棚後速度降低，且會受北方海流的影響，在東海大陸棚繞圈後南移至蘭陽溪口開始堆積。

八、探討「秋冬季節」海漂垃圾的移動路線和分布情形





(一) 實驗步驟

1. 以【作法三】進行動態模擬為基礎。
2. 將海流調整為冬季中國沿岸流由北部流入臺灣海峽，南部以黑潮流向北方，分別流入臺灣海峽和臺灣東部。
3. 在東北方和西南方加上風場，且東北季風風速加大。
4. 以直徑 3mm 保麗龍球模擬海漂垃圾，從南北方海域放置海漂垃圾後進行觀察。
5. 錄影記錄移動路徑及堆積位置。



(二) 實驗結果

實驗時間	10 分鐘	20 分鐘
實驗結果		
路徑圖		

實驗時間 實驗結果	30 分鐘	40 分鐘
路徑圖		
實驗時間 實驗結果	50 分鐘	60 分鐘
路徑圖		

(三) 研究討論

- 1.加入東北季風風場，北方海漂垃圾的移動速度增加，且堆積物累積在岸邊後較不會再移動。
- 2.模擬中發現海漂垃圾秋冬季節主要集中於臺灣東南部和西南部沿岸，且西南部沿岸會有大量堆積的情形，且在高雄、屏東地區形成帶狀，來回移動。
- 3.由南部被黑潮帶往北部的海漂垃圾，會受到東北季風影響移動速度會變慢。
- 4.由實驗結果發現南北部的海漂垃圾會混合堆積在東南部和西南部沿岸，使海漂垃圾累積量在此兩處的數量較其他地區多。



九、探討「春夏季節」海漂垃圾的移動路線和分布情形


(一) 實驗步驟

1. 以【作法三】進行動態模擬為基礎。
2. 將海流調整為南海海流由南部流入臺灣海峽，臺灣東部以黑潮流向北方。
3. 在東北方和西南方加上風場，且西南季風風速加大。
4. 以直徑 3mm 保麗龍球模擬海漂垃圾，從南北方海域放置海漂垃圾後進行觀察。
5. 錄影記錄移動路徑及堆積位置。



(二) 實驗結果

實驗時間	10 分鐘	20 分鐘
實驗結果		
路徑圖		

實驗時間	30 分鐘		40 分鐘	
實驗結果				
路徑圖				
實驗時間	50 分鐘		60 分鐘	
實驗結果				
路徑圖				

(三) 研究討論

- 1.加入西南季風風場，南方海漂垃圾的移動速度增加，且移動速度較秋冬季節時快。
- 2.由上述實驗結果推測，南部為海流為溫度較高的水流，在表面的移動速度本來就比較快，加上季風吹拂，移動速度就更快。
- 3.模擬中發現海漂垃圾春夏季節主要集中於臺灣東北角，且東北部沿岸會有大量堆積的情形，且在台北、基隆一帶成帶狀，來回移動。
- 4.由北部被帶往南部的海漂垃圾，會受到西南季風影響移動速度會變慢。
- 5.由實驗結果發現南北部的海漂垃圾會混合堆積在北部和東北角，使海漂垃圾累積量在此處的數量較其他地區多。
- 6.相較於秋冬季節，春夏季節的臺灣南部沿岸海漂垃圾的堆積量較少，而北部地區堆積量大，且主要堆積垃圾來源多為南方海漂垃圾。




十、臺灣出海口垃圾在洋流影響下的移動路線和分布情形

(一) 實驗步驟

- 1.以【作法三】進行動態模擬為基礎。
- 2.分別在淡水河、大甲溪、濁水溪、曾文溪、高屏溪和蘭陽溪出海口放置約 10 平方公分直徑 3mm 保麗龍球模擬海漂垃圾
觀察春夏季節、秋冬季節和颱風三種氣候狀態，出海口垃圾的情形
- 4.錄影記錄堆積物變化情形。

(二) 實驗結果

出海口位置	實驗示意圖	實驗結果	
淡水河		春夏季節	堆積物無漂移的情形
		秋冬季節	堆積物受東北季風影響會向南方堆積
		颱風	堆積物會被吹上岸且部分往南北方移動，堆積於大安溪口到蘭陽溪口北部區段
大甲溪		春夏季節	堆積物受西南季風影響會向北方堆積
		秋冬季節	堆積物受東北季風影響會向南方堆積
		颱風	堆積物會被吹上岸且部分往北方移動，堆積於大安溪口到淡水河口北

濁水溪		春夏季節	堆積物受西南季風影響會向北方堆積，呈現帶狀
		秋冬季節	堆積物受東北季風影響會向南方堆積，呈現帶狀
		颱風	堆積物會被吹上岸且部分被帶出河口，在大陸棚上方打轉
曾文溪		春夏季節	堆積物受西南季風影響會向北方堆積，呈現帶狀
		秋冬季節	堆積物無漂移的情形
		颱風	堆積物會被吹上岸且部分往南北方移動，堆積於大安溪口到高屏溪口北
高屏溪		春夏季節	堆積物受西南季風影響會向北方堆積，呈現帶狀
		秋冬季節	堆積物無漂移的情形
		颱風	堆積物會被吹上岸且部分往南方移動，堆積於曾文溪口到高屏溪口北
蘭陽溪		春夏季節	堆積物無漂移的情形
		秋冬季節	堆積物受東北季風影響會向南方堆積，部分堆積物會堆積在花蓮地區
		颱風	堆積物會被吹上岸且部分往南方移動，堆積於宜蘭到台東

(三) 研究討論

- 1.堆積於出海口的海漂垃圾受季風的影響顯著，會因風場方向影響擴大堆積於沿岸的範圍
- 2.春夏季節：臺灣西部出海口堆積物，從大甲溪到高屏溪因受西南季風影響，出海口堆積物易受季風影響往北部堆積。
- 3.秋冬季節：淡水河、大甲溪和蘭陽溪受東北季風影響，出海口堆積物易受季風影響往南部堆積。
- 4.颱風：本研究主要模擬由南部往北部移動的颱風，因颱風風勢較強，出海口堆積物有部

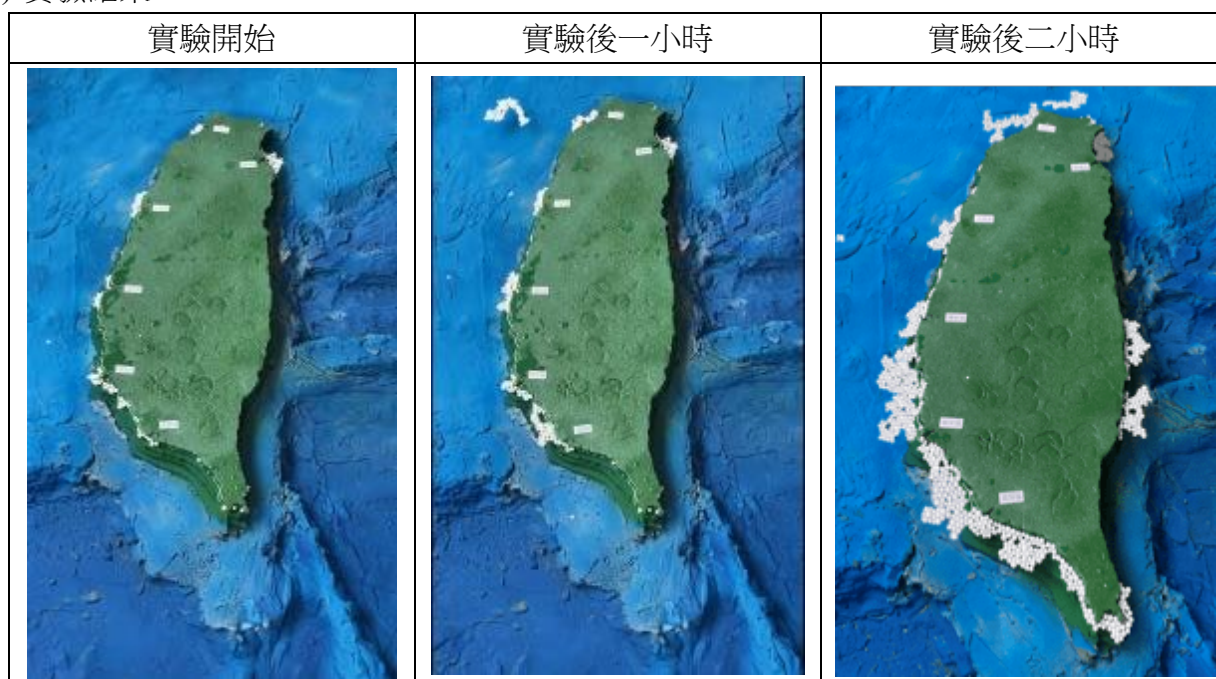
分會被帶往岸上堆積，而其他被風吹開，往南北方延伸，擴大堆積的範圍。此外，濁水溪口的海漂垃圾會受風的影響，在近海的大陸棚打轉。

十一、動態模擬結果與臺灣海漂垃圾調查資料之比對

(一) 實驗步驟

- 1.以【作法三】進行動態模擬為基礎。
- 2.以直徑 3mm 保麗龍球 25 克模擬海漂垃圾，從南北方海域逐步放置垃圾進行觀察。
- 3.進行秋冬季節實驗一小時，接著春夏季節實驗一小時，共計兩小時。
- 4.在水槽底部放置格線圖，記錄最後堆積位置和堆積面積。
- 5.將實驗結果與實際臺灣海漂垃圾調查資料進行比對。

(二) 實驗結果



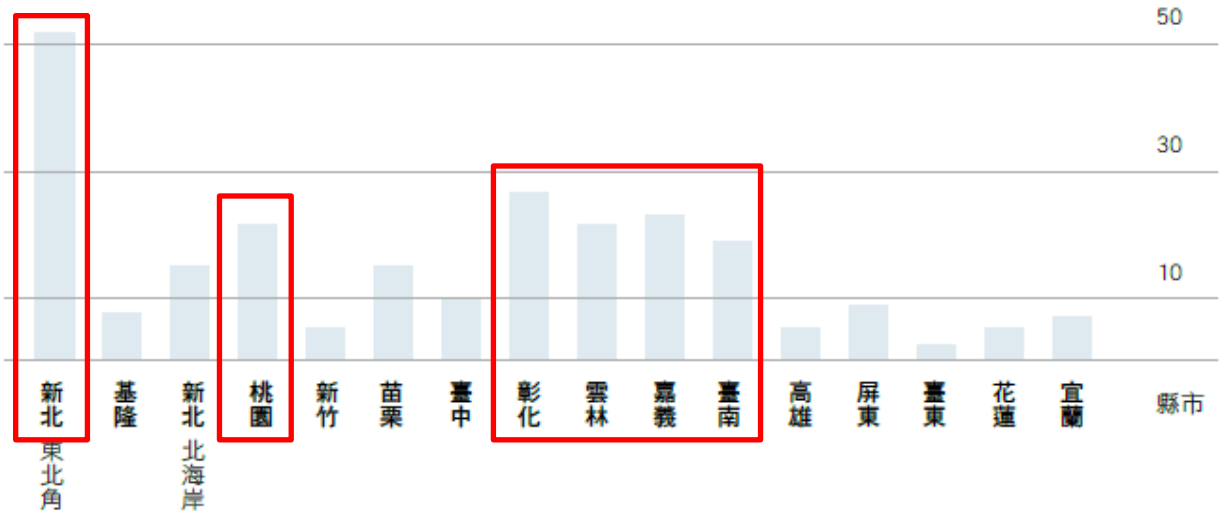
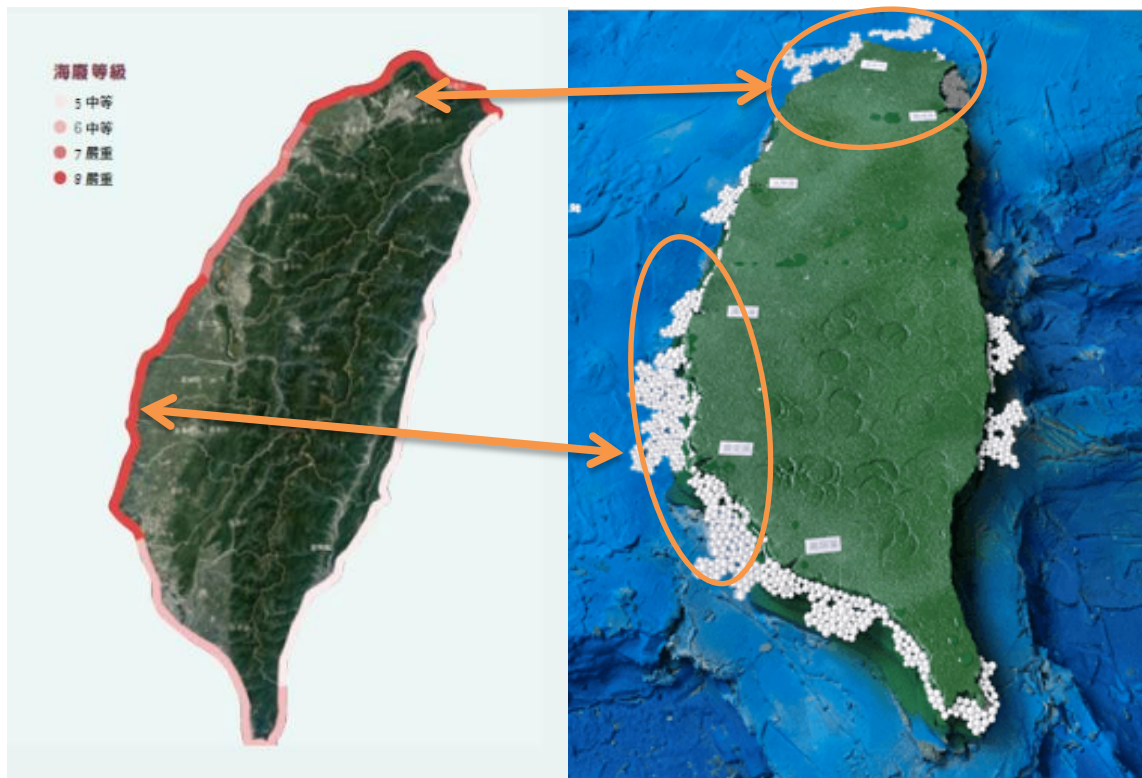
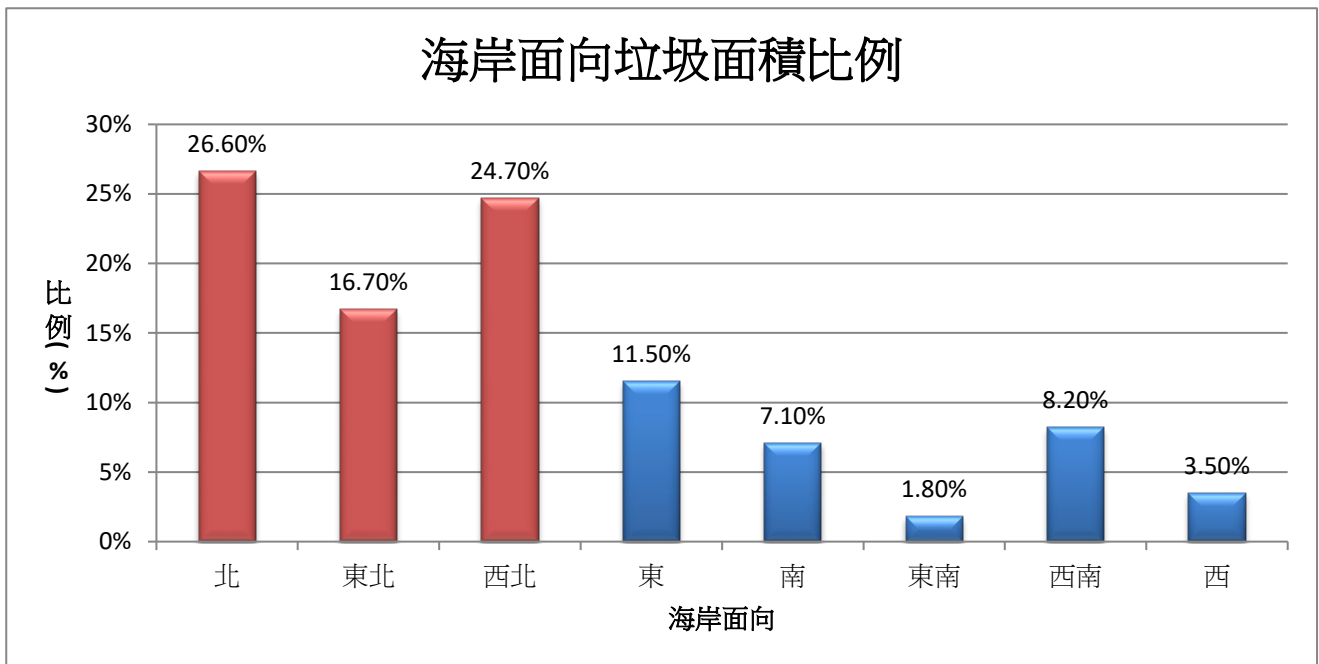


圖 4 臺灣本島各縣市海岸上之平均百米海邊垃圾袋數

海岸面向	北	東北	西北	東	南	東南	西南	西
垃圾累積面積	13.3	8.4	12.3	5.7	3.6	0.9	4.1	1.7
比例	26.6%	16.7%	24.7%	11.5%	7.1%	1.8%	8.2%	3.5%



(三) 研究討論

1. 模擬實驗結果可以發現大量的海漂垃圾會堆積在彰化到台南和桃園到基隆的海岸線，且海漂垃圾為混合南北方的垃圾類型。
2. 出海口已有本島河川流出的出海口垃圾，會與外來的海漂垃圾聚集，增加該地區海漂垃圾的堆積量。
3. 對照調查報告可知目前臺灣地區的兩大海廢熱區為北部海岸、西南海岸，花東海岸普遍較乾淨，與我們的模擬實驗結果相符。
4. 北向海岸為臺灣主要堆積海漂垃圾的地點，佔所有海漂垃圾的 65%。
5. 西北向與北向的海岸雖只占整體海岸長度不到三成以上，但超過五成的垃圾都分佈於此，且容易在該地區型形成帶狀海漂垃圾。
6. 由實驗結果顯示，洋流、季風風場和出海口垃圾是影響海漂垃圾堆積路徑和位置的主要因素。

陸、結論

- 一、不同性質溫度和鹽度的水體相遇後，會因溫差和鹽度差而引發水體流動，通常差異越大，水體流動速度越快。
- 二、風會引發吹送流，風速越大，水流速越快；且風向會影響表面漂浮物的移動方向。
- 三、由北部往南部移動的海漂垃圾開始移動的時間較慢，且移動速度也較慢。由實驗結果推測可能因水溫較低，密度大，向下沉降後速度較慢，引發水體流動的時間較長。
- 四、由南部往北部移動的海漂垃圾開始移動的時間較短，且移動速度較快。由實驗結果推測可能因水溫較高，密度小，於水體表面移動速度較快。
- 五、海漂垃圾會在洋流會合處會呈現帶狀分布。
- 六、海漂垃圾會受海底地形影響，水深較淺的大陸棚會使垃圾移動速度變慢，而垃圾流經海槽或海盆時，水深較深，移動速度較快。由實驗結果可知，海底地形會使海漂垃圾集中於臺灣西部大甲溪至曾文溪區段。
- 七、秋冬季節受東北季風和洋流方向影響，垃圾主要集中於臺灣東南部和西南部沿岸，且西南部沿岸會有大量堆積的情形，且在高雄、屏東地區形成帶狀，來回移動。
- 八、春夏季節受西南季風和洋流方向影響，海漂垃圾主要會堆積在北部和東北角，部分會堆積在南部沿岸。
- 九、堆積於出海口的海漂垃圾受季風的影響顯著，會因風場方向影響擴大堆積於沿岸的範圍，且颱風季節影響最大。
- 十、我們動態模擬一整年海漂垃圾的移動和堆積，發現大量海漂垃圾集中於彰化 - 台南、二區域。模擬結果與海保署研界報告中的兩大海廢熱區為北部海岸、西南海岸相符合，顯示洋流、季風和海底地形是影響海漂垃圾堆積路徑和位置的主要因素。
- 十一、未來實驗模擬可再針對風場變化、海漂垃圾種類等變因做比較，希望可以得到更多海漂垃圾移動和堆積的相關資訊，以利未來進行海漂垃圾的攔截或清運。

柒、參考資料及其他：

- 一、范紓瑜、黃晏伶、孟華偉、李政泰、蕭潔穗、吳咏倪(2018)。驚天「凍」地-深海環流之探討。中華民國第五十一屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、陳思妘、林天心、詹前宣(2011)。水升火熱。中華民國第五十一屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、臺灣海邊有多少垃圾？全臺海岸快篩調查大解答-從淨灘到「快篩」：問診全臺的海岸垃圾-<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/1897>。綠色和平東亞分部臺北辦公室。
- 四、顏寧(2019)。海，有什麼塑？ - 臺灣海岸垃圾總體檢。綠色和平東亞分部臺北辦公室。
- 五、海廢行動計畫-<https://www.oca.gov.tw/ch/home.jsp?id=158&parentpath=0,8,72>。海保署洋環境管理組。

【評語】 080501

【優點】

1. 研究主題具鄉土性及與環境相關。
2. 研究有將構想具體化，實驗本身有趣，完整作出實驗，考慮周詳。
3. 研究結果與現在的環境觀測相符（兩大海廢熱區為北部海岸、西南海岸）。
4. 簡報流利，回答精簡、切合主題。

【建議】

1. 變項間之互動關係無法確認（例如，冷熱水溫差實驗，鹽度實驗的結果與動態海漂垃圾的結論似乎無關，似乎只與表流或風向有關）。
2. 海漂材質(保麗龍)，已經決定了控制因素(大部分的體積都在空氣中)。
3. 實驗室冷熱水溫差會產生的對流與風吹的效應，在實務上可能是不一樣的物理機制，造成的影響與重要性也不一樣。
4. 將來可考量不同的影響因素，例如尺度比例放大的問題，柯氏力的影響，模型邊界的設定與討論，與度量的方法及不確定性，以適用到臺灣的實際狀況。

作品簡報

離家五百哩—

臺灣海漂垃圾與洋流關係

動態模擬之研究

製作臺灣附近海域洋流模擬模型



鋪設海底高度



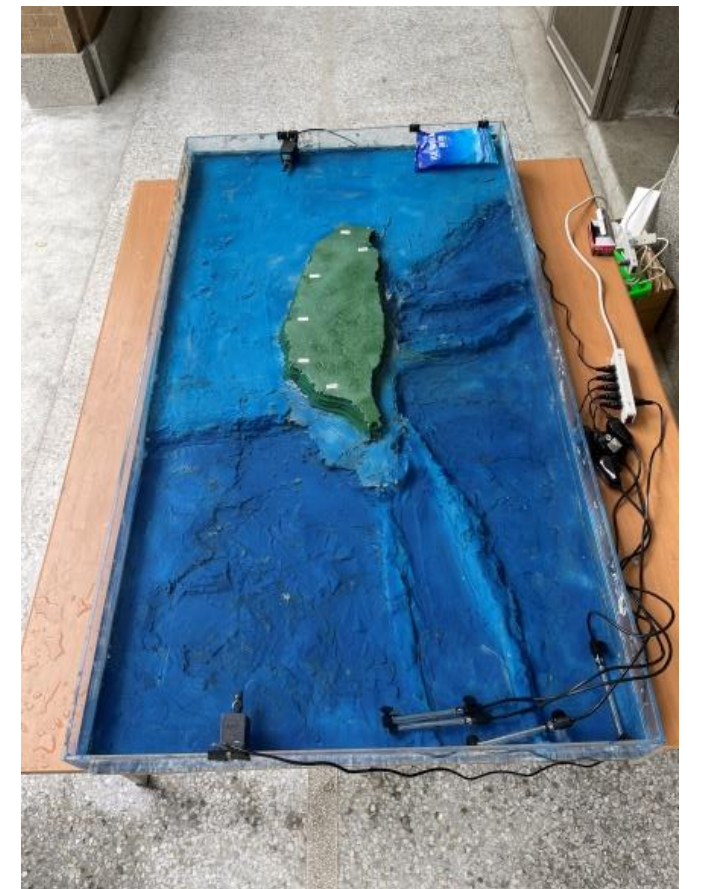
製作海底島弧



對照實際海地地形



塗抹水泥塑行微調高度

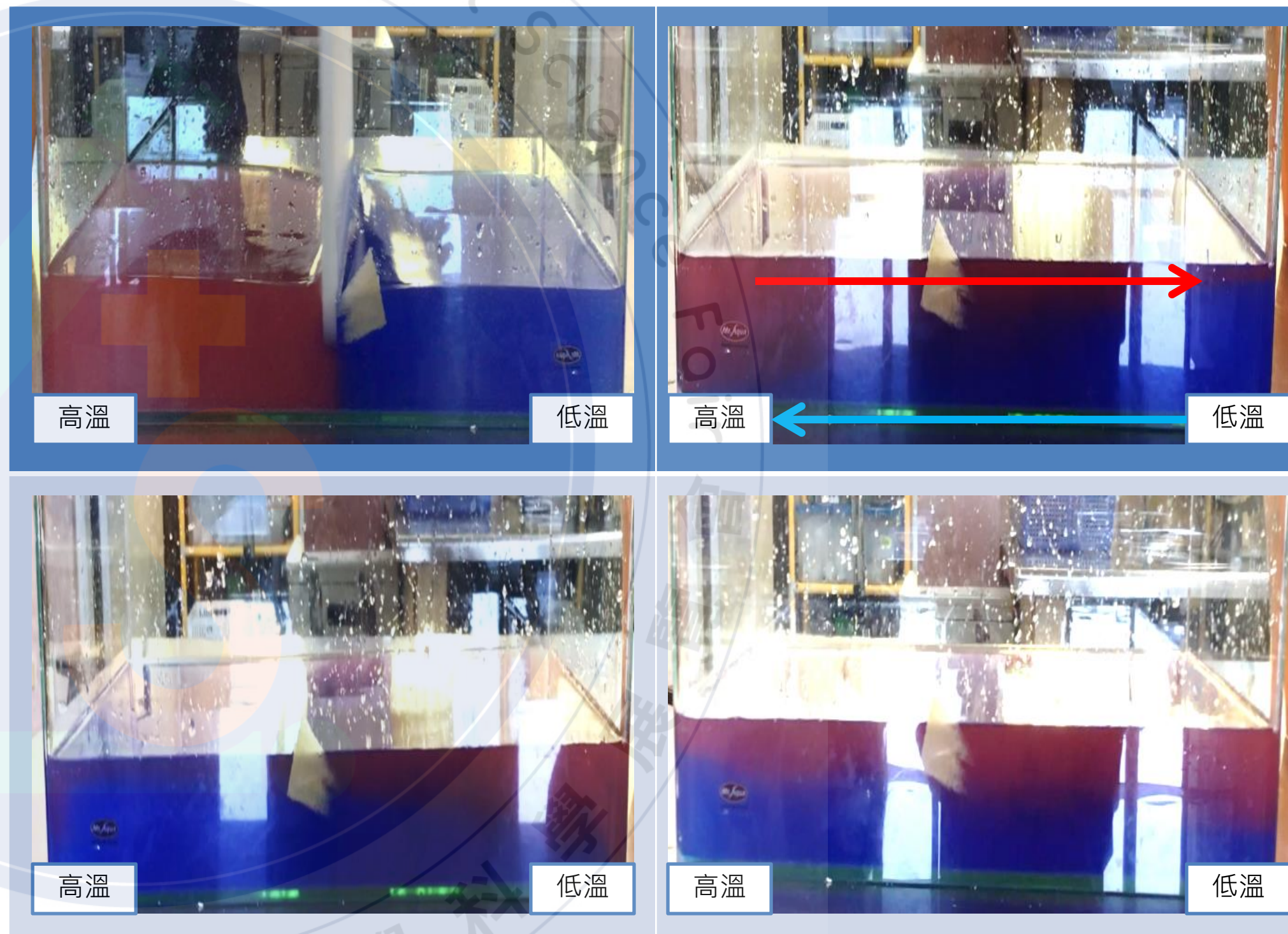


設置沉水馬達和季風風場

運用溫度差及沉水馬達製造水流，並加入海底地形與季風風場以確實模擬臺灣附近海域海漂垃圾移動情形。

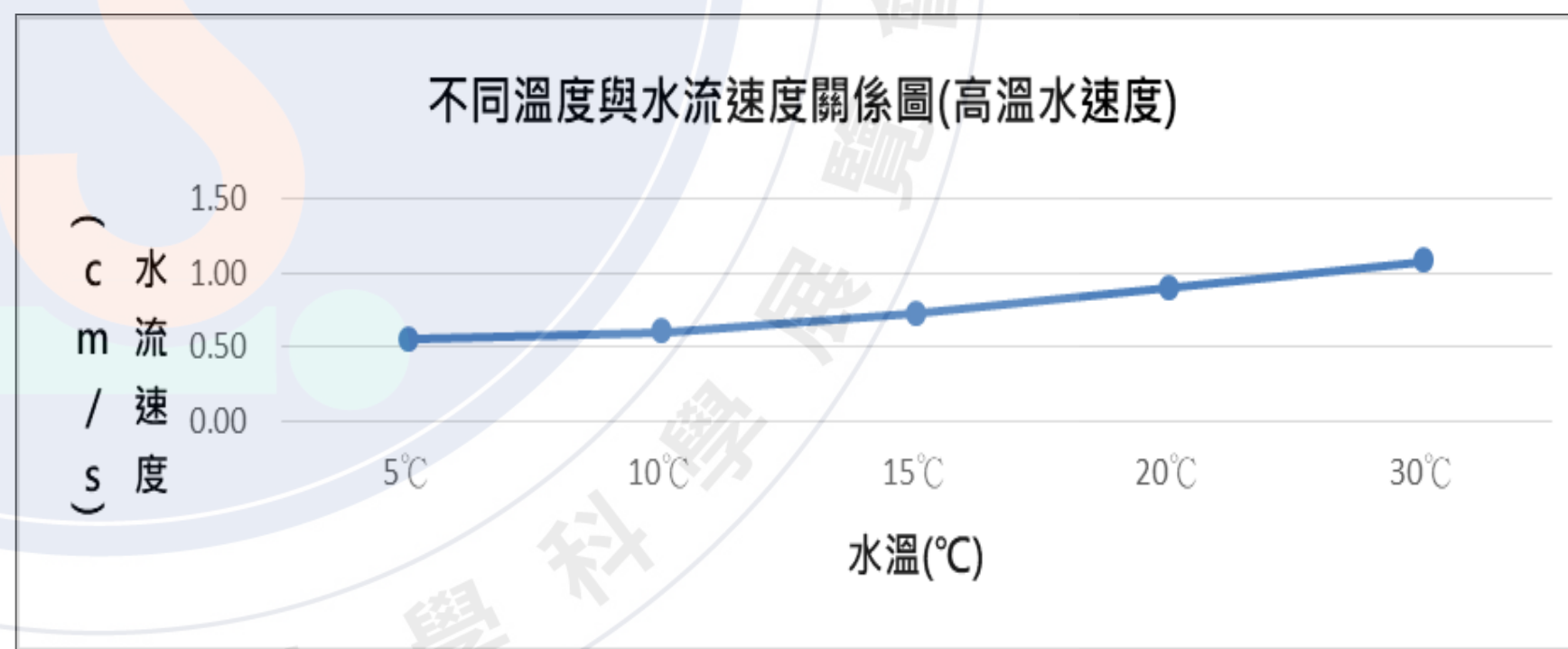
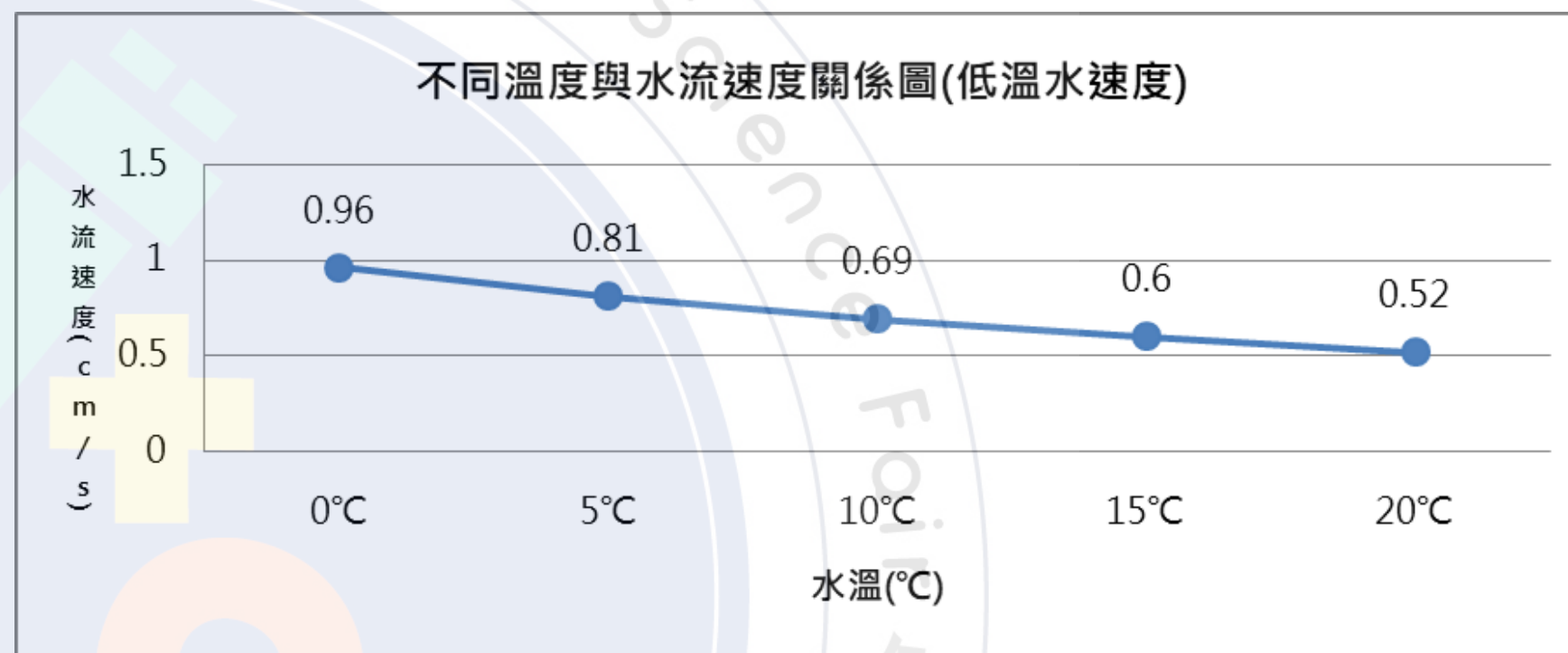
【實驗一】不同溫度的水體相遇後的流動情形

- ◆ 由實驗結果可以發現水溫愈低，密度愈大，會下沉到水箱的最底部；反之水溫高則密度小，會漂浮在水箱的表面。
- ◆ 水溫差為 0°C 未呈現上下分層
- ◆ 水溫差為 5°C 、 10°C 、 15°C 皆出現上下分層，且皆為紅色高溫水在上，藍色低溫水在下。
- ◆ 5°C 、 10°C 、 15°C 上下分層中間出現紫色混合層，溫差越接近紫色混合層越大。
- ◆ 靜止一段時間後，會形成一團密度相近的水團。



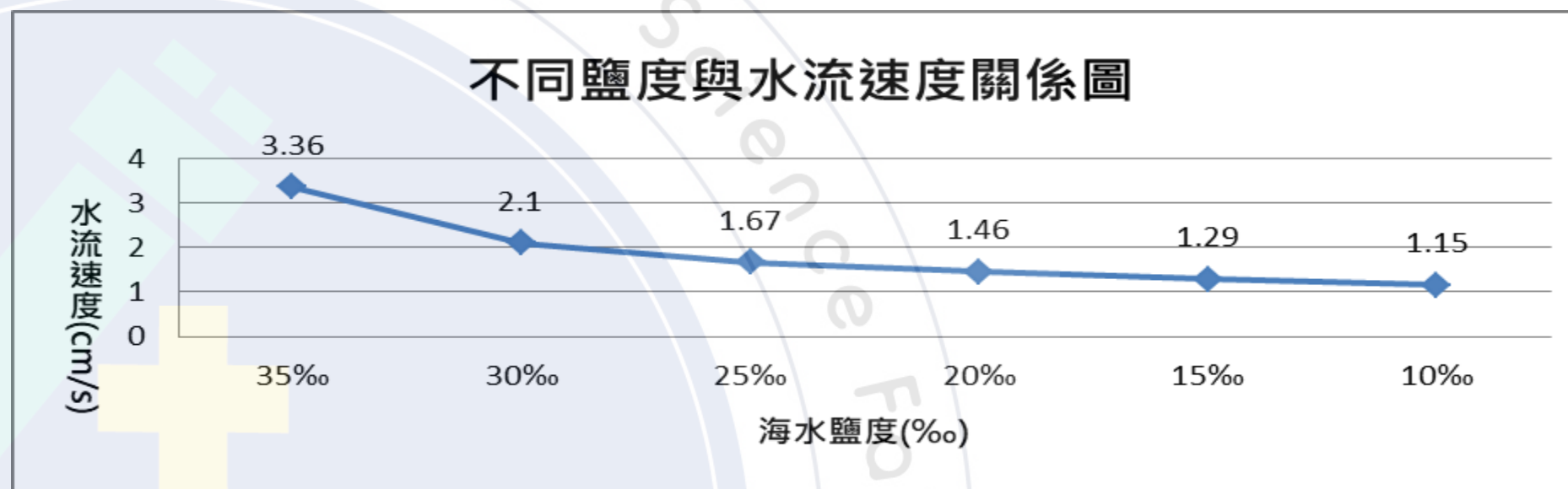
【實驗二】不同溫度水體流動速度的差異

- ◆ 實驗結果，洋流的溫度差愈大，流速就愈快。0°C的水進入溫度30°C水中流動最快，所需平均時間為47秒，平均流速0.96(cm/sec)；20°C的水進入溫度30°C水中流動最慢，所需平均時間為86.2秒，平均流速0.52(cm/sec)。
- ◆ 低溫水進入高溫水時，低溫水會由水缸底部移動；高溫水進入低溫水時，高溫水會由水層上方移動，呼應【實驗一】之實驗結果。
- ◆ 由實驗結果可知，溫差相同時，上方水流移動速度較快，底部水流速度較慢。



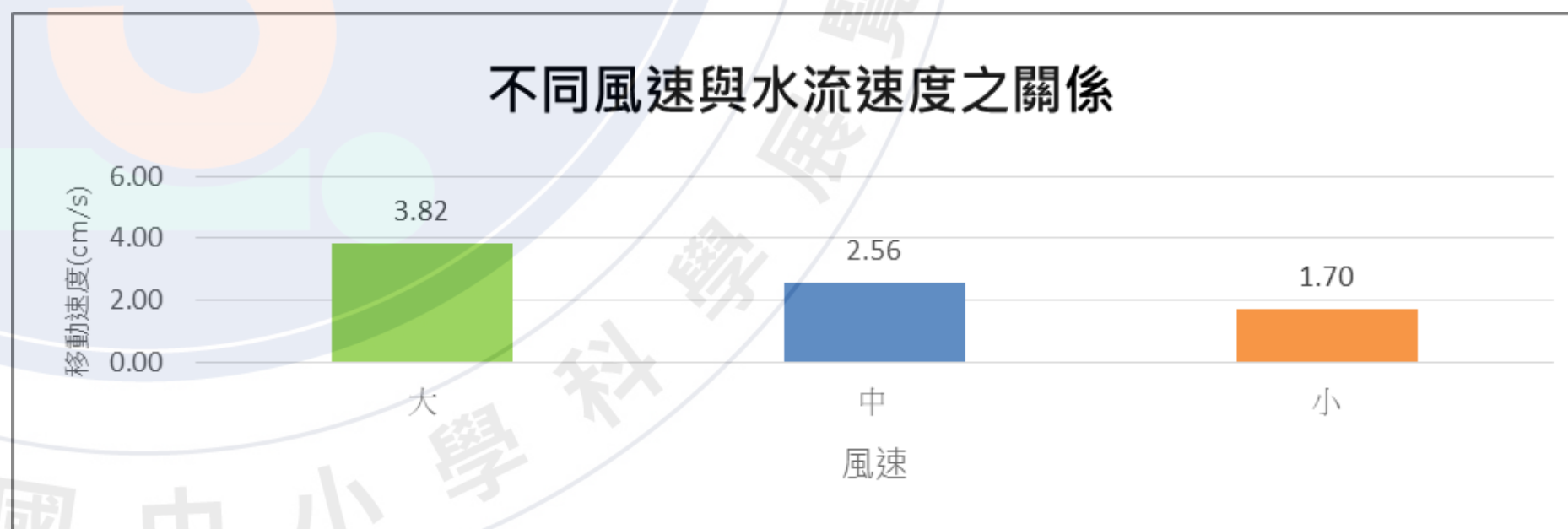
【實驗三】不同鹽度水體流動速度的差異

- ◆ 根據實驗結果，**鹽度差越小，流速慢**，流動的時間較長；**鹽度差越大，流速快**，流動的時間較短。



【實驗四】風力與風向造成表面水體流動的情形

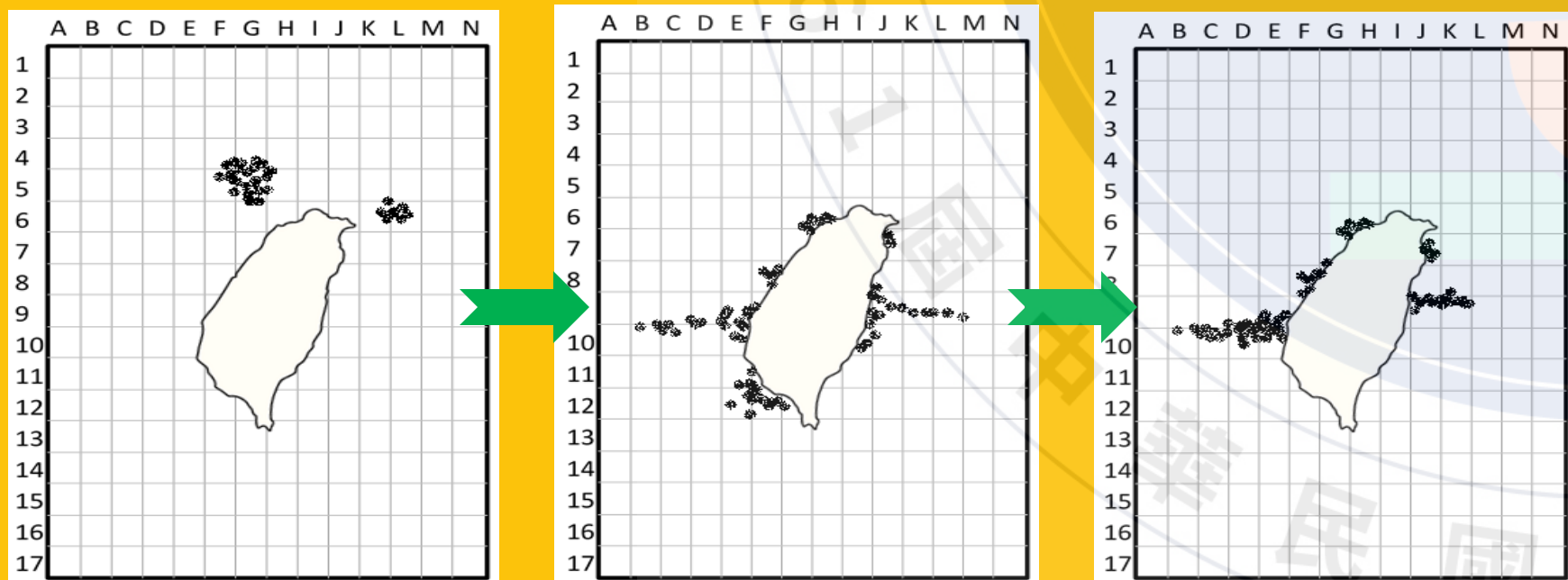
- ◆ 根據實驗結果，風可以製造出水體表面的吹送流，且**風速越大，水流速越快**。而風向會影響表面漂浮物的移動方向，**漂浮物的移動方向與風向相同**。



【實驗五】「北方海域」和「南方海域」垃圾在臺灣四周的移動路線和分布情形

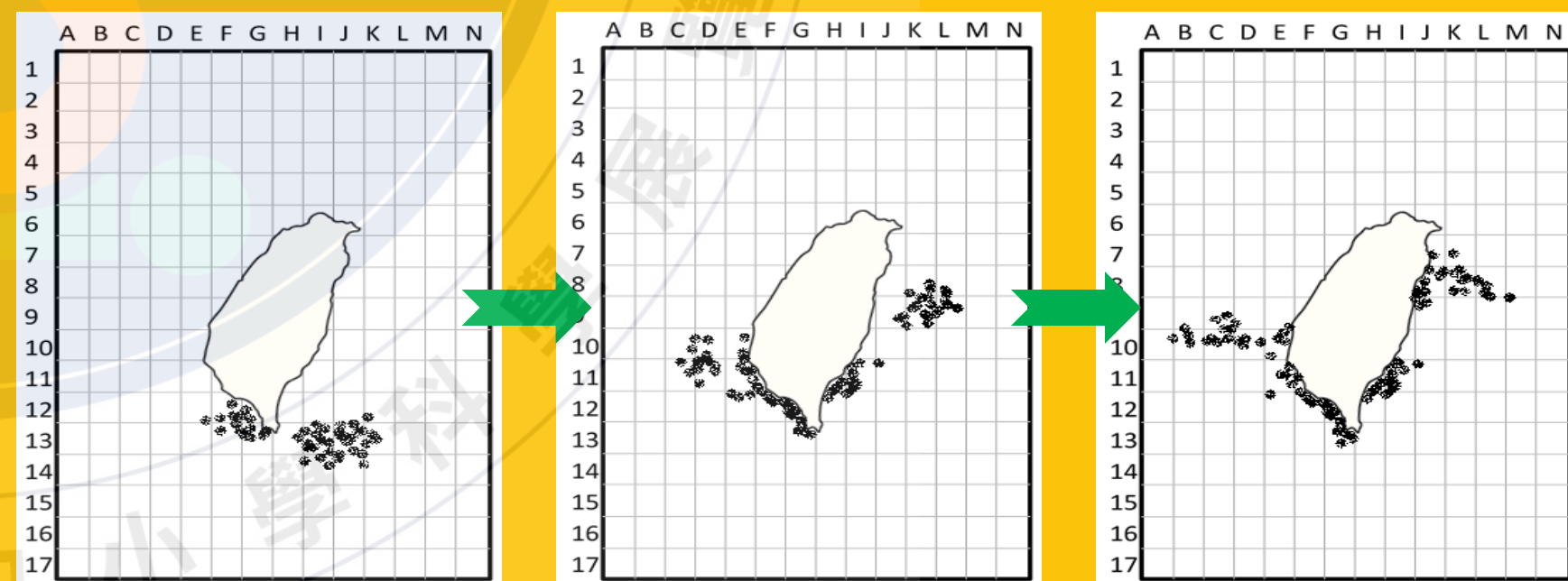
北方海域

- ◆ 面北的海岸會先開始堆積，西部海岸面北海岸較多，所以堆積速度較快。
- ◆ 東部和西部都有帶狀堆積物出現。
- ◆ 西部海漂堆積物的面積明顯大於東部，推測可能是受海岸地形影響。西部海岸坡度較緩，容易累積海漂垃圾。



南方海域

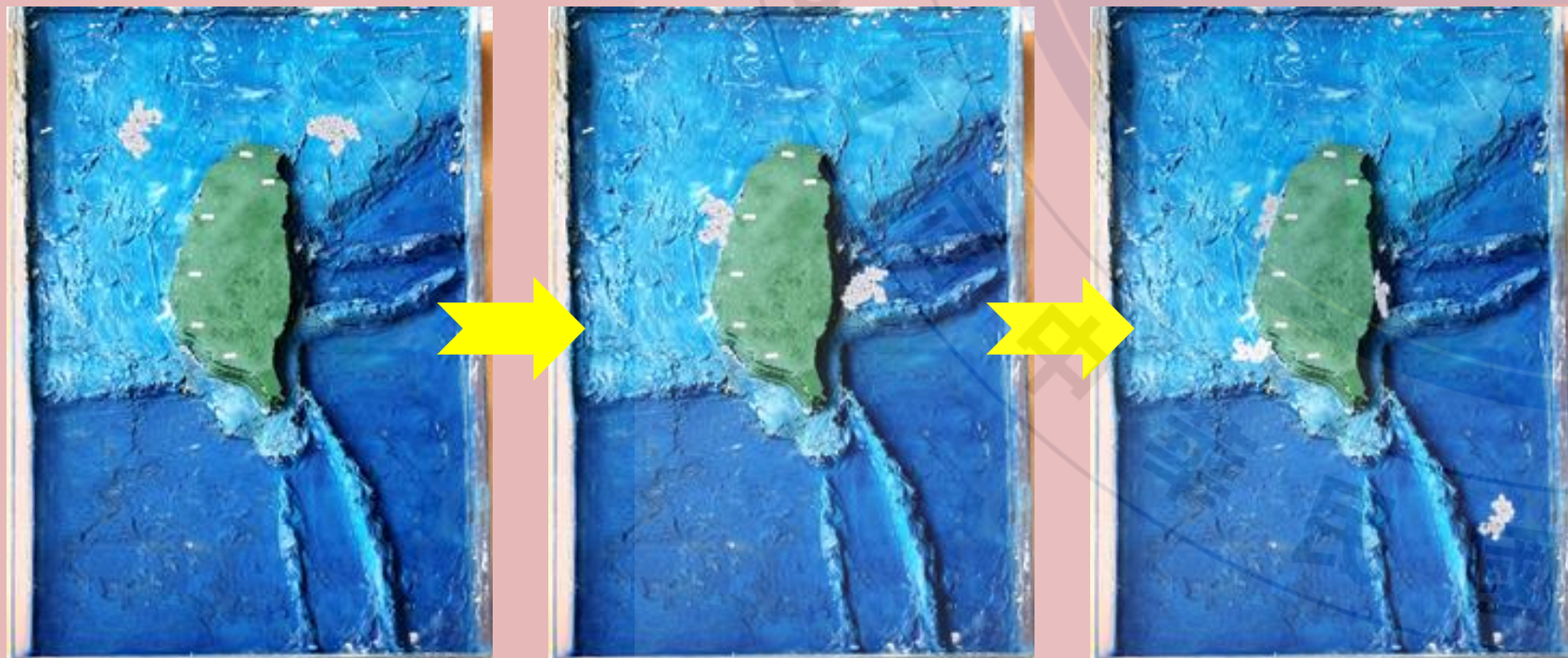
- ◆ 面南西部海岸會先開始堆積，東部至30分鐘後才開始堆積。
- ◆ 東部和西部都有帶狀堆積物出現，東部帶狀位置較偏北。
- ◆ 東部海面上的海漂物移動至臺灣東北方海面，會受到北方的洋流影響，轉為南移至宜蘭地區的海岸堆積。
- ◆ 由南方來的海漂垃圾主要堆積於南部海岸，東部則多堆積於台東、宜蘭地區。



【實驗六】海底地形對海漂垃圾在臺灣沿岸移動路線和分布情形的影響

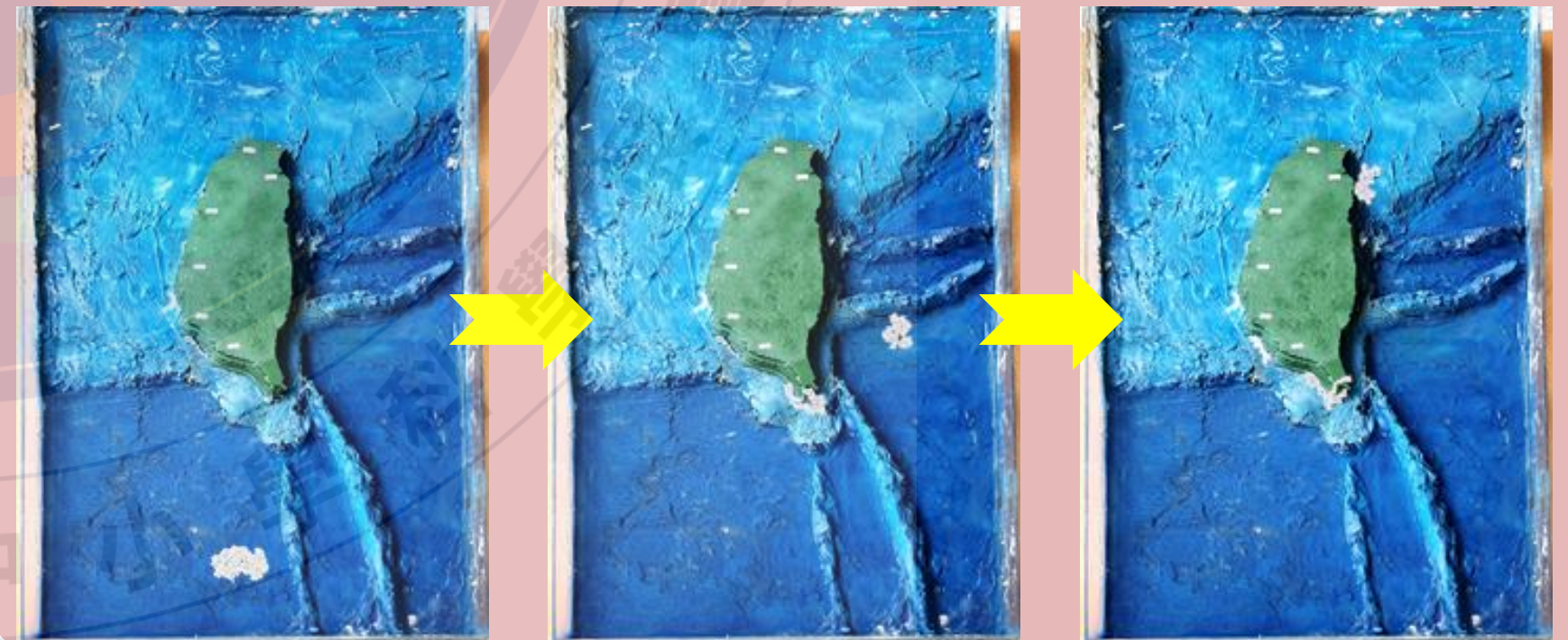
北方海域垃圾

- ◆ 往西部海岸移動的垃圾會受臺灣海峽的大陸棚影響，移動速度較緩慢。
- ◆ 西部的海漂垃圾會在臺灣海峽大陸棚打轉，垃圾主要集中在大甲溪和曾文溪出海口。
- ◆ 往東部海域移動的垃圾進入沖繩海槽後，移動速度加快。部分垃圾會堆積在東部海岸，部分垃圾往臺灣東南方的菲律賓海盆移動。



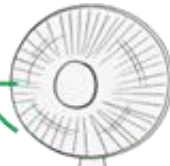
南方海域垃圾

- ◆ 南方海域垃圾因海水深度較深，移動速度大於北方垃圾移動速度。
- ◆ 部分垃圾會從鵝鑾鼻附近開始堆積，受南方海流影響漸漸往西南方沿岸移動。最後主要堆積於高屏溪出海口。
- ◆ 東部海域的海漂垃圾再經過沖繩海槽後，會往東北方移動，進入大陸棚後速度降低，且會受北方海流的影響，在東海大陸棚繞圈後南移至蘭陽溪口開始堆積。



【實驗七】探討「秋冬季節」海漂垃圾的移動路線和分布情形

風量大



風量小

- ◆ 加入東北季風風場，**北方海漂垃圾的移動速度增加**，且堆積物累積在岸邊後較不會再移動。
- ◆ 模擬中發現海漂垃圾秋冬季節**主要集中於臺灣東南部和西南部沿岸**，且西南部沿岸會有大量堆積的情形，且在高雄、屏東地區形成帶狀，來回移動。
- ◆ 由南部被黑潮帶往北部的海漂垃圾，會受到東北季風影響移動速度會變慢。
- ◆ 由實驗結果發現南北部的**海漂垃圾會混合堆積在東南部和西南部沿岸**，使海漂垃圾累積量在此兩處的數量較其他地區多。



【實驗八】探討「春夏季節」海漂垃圾的移動路線和分布情形

風量小 

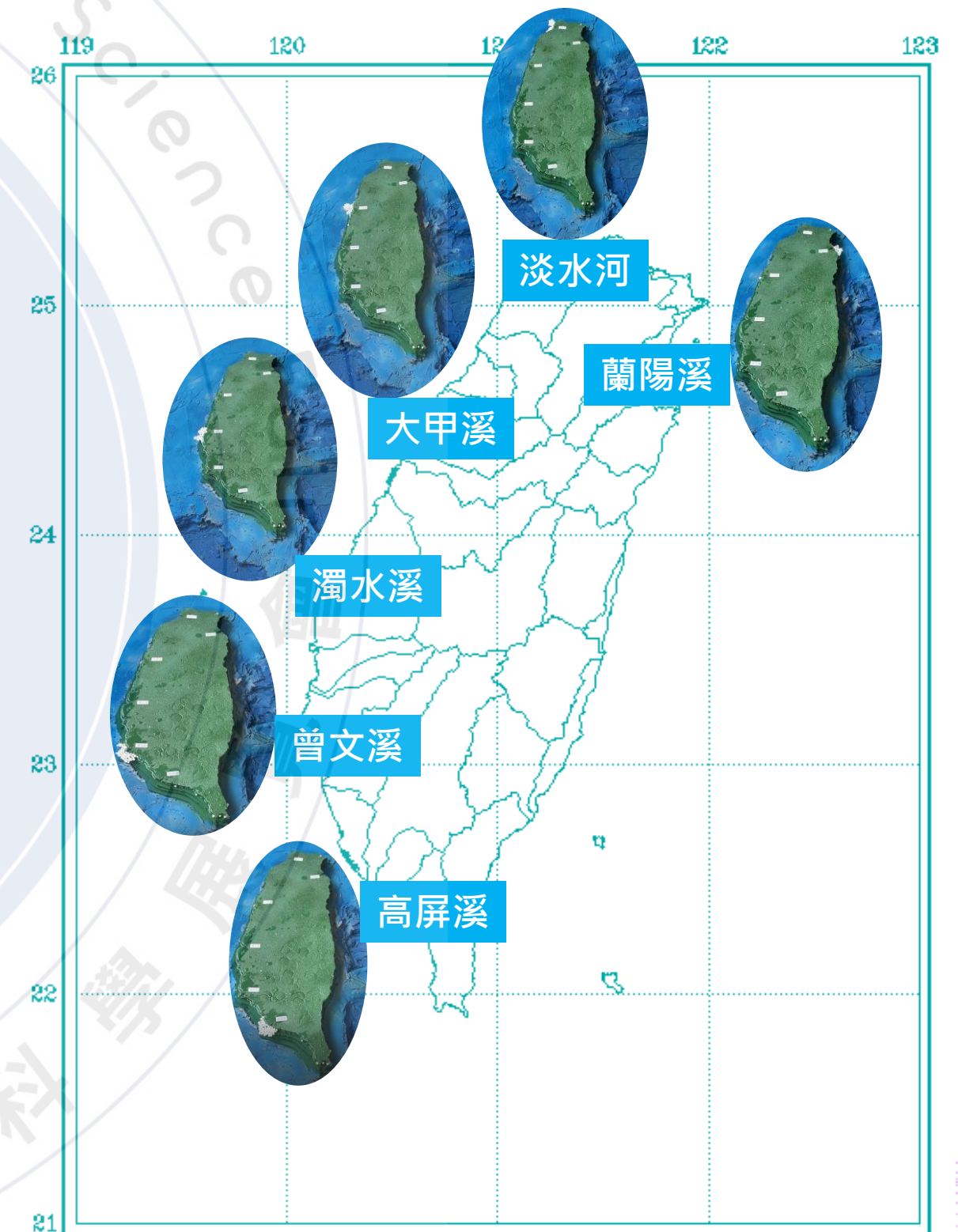


- ◆ 加入西南季風風場，南方海漂垃圾的移動速度增加，且移動速度較秋冬季節時快。
- ◆ 模擬中發現海漂垃圾春夏季節主要集中於臺灣東北角，且東北部沿岸會有大量堆積的情形，且在台北、基隆一帶成帶狀，來回移動。
- ◆ 由北部被帶往南部的海漂垃圾，會受到西南季風影響移動速度會變慢。
- ◆ 南北部的海漂垃圾會混合堆積在北部和東北角，使海漂垃圾累積量在此處的數量較其他地區多。
- ◆ 相較於秋冬季節，春夏季節的臺灣南部沿岸海漂垃圾的堆積量較少，而北部地區堆積量大，且主要堆積垃圾來源多為南方海漂垃圾。

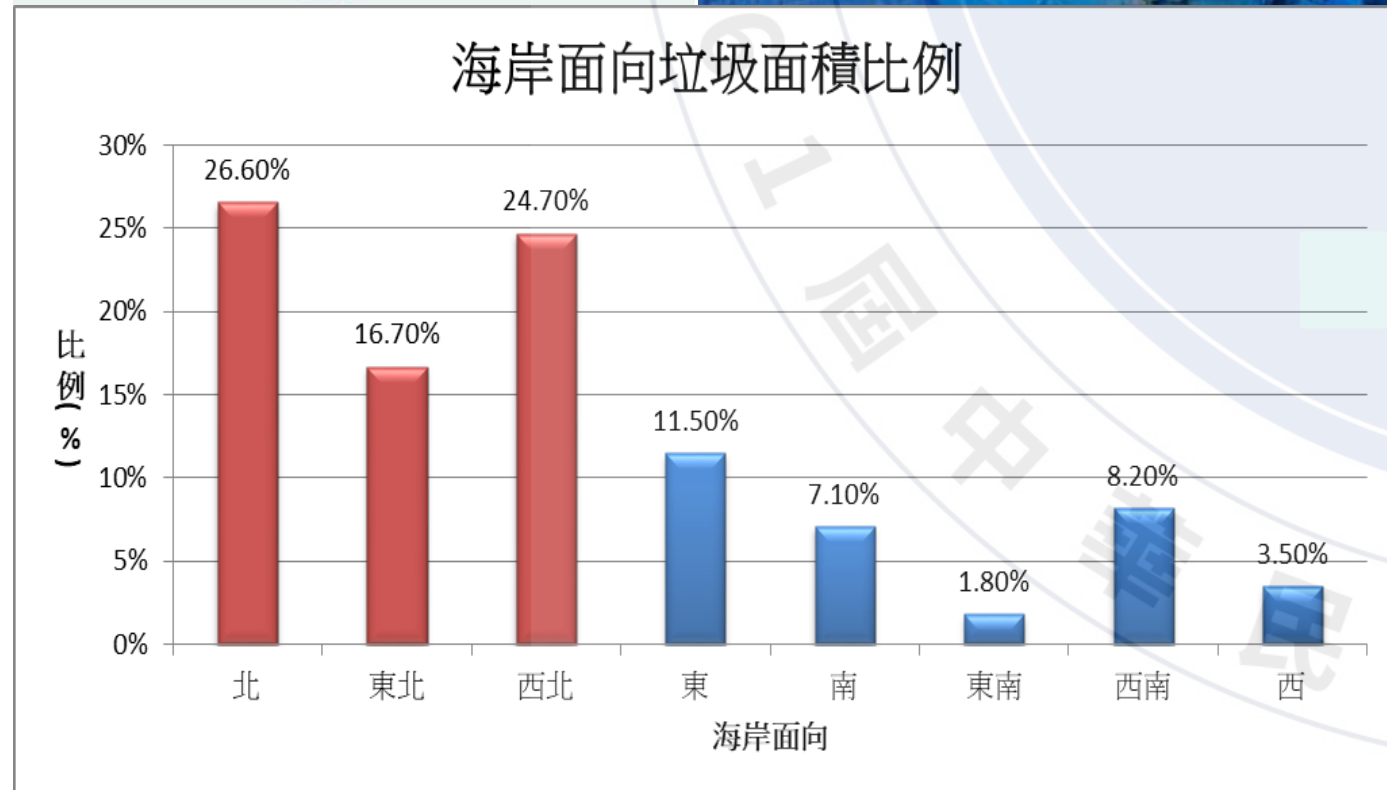
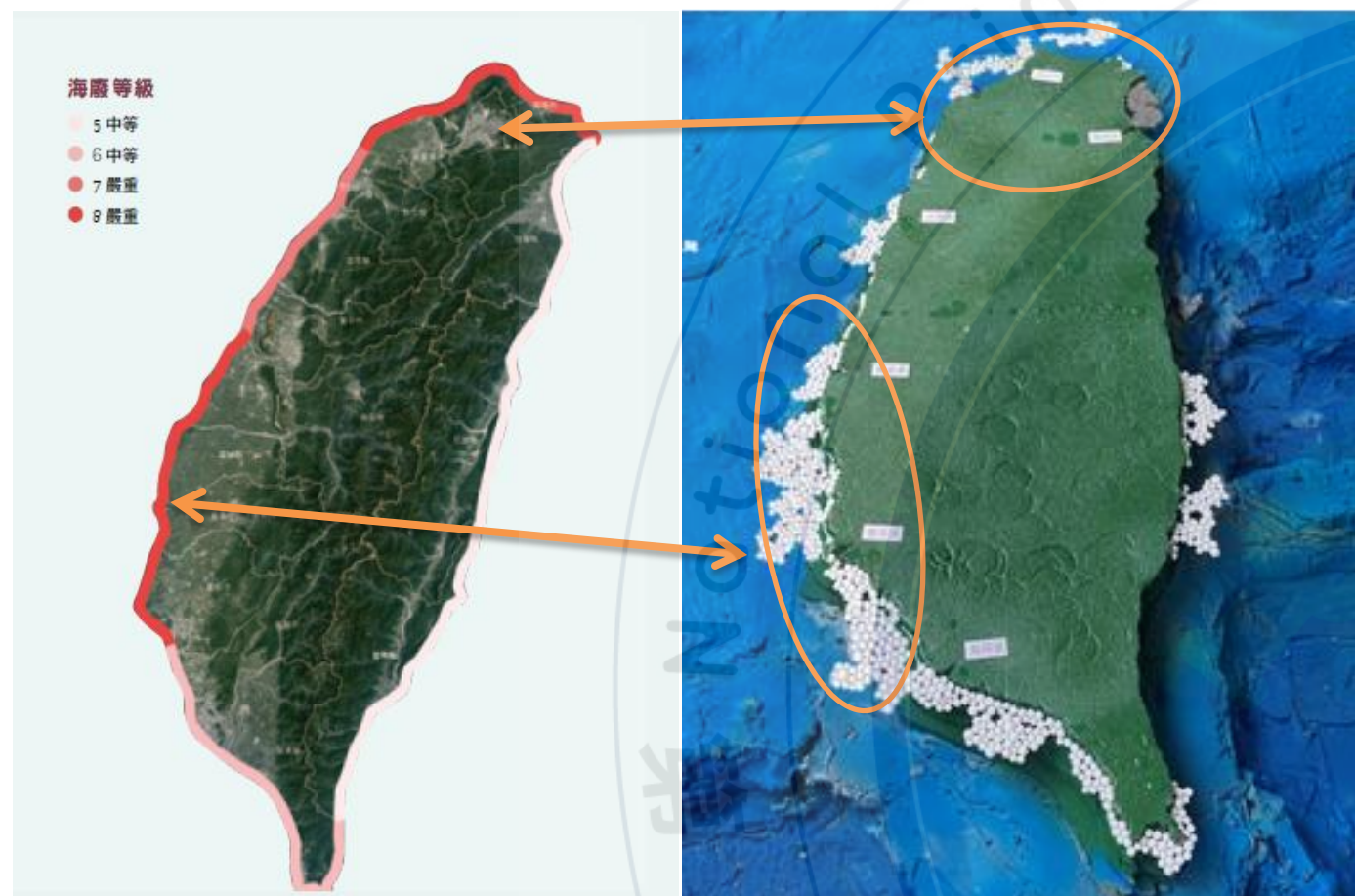


【實驗八】臺灣出海口垃圾在洋流影響下的移動路線和分布情形

- ◆ 堆積於出海口的海漂垃圾受季風的影響顯著，會因風場方向影響擴大堆積於沿岸的範圍
- ◆ 春夏季節：臺灣西部出海口堆積物，從大甲溪到高屏溪因受西南季風影響，出海口堆積物易受季風影響往北部堆積。
- ◆ 秋冬季節：淡水河、大甲溪和蘭陽溪受東北季風影響，出海口堆積物易受季風影響往南部堆積。
- ◆ 颱風：本研究主要模擬由南部往北部移動的颱風，因颱風風勢較強，出海口堆積物有部分會被帶往岸上堆積，而其他被風吹開，往南北方延伸，**擴大堆積的範圍**。此外，濁水溪口的海漂垃圾會受風的影響，在近海的大陸棚打轉。



【實驗九】動態模擬結果與臺灣海漂垃圾調查資料之比對



- ◆ 模擬實驗結果可以發現大量的海漂垃圾會堆積在彰化到台南和桃園到基隆的海岸線，且海漂垃圾為混合南北方的垃圾類型。
- ◆ 出海口已有本島河川流出的出海口垃圾，會與外來的海漂垃圾聚集，增加該地區海漂垃圾的堆積量。
- ◆ 對照調查報告可知目前臺灣地區的兩大海廢熱區為北部海岸、西南海岸，花東海岸普遍較乾淨，與我們的模擬實驗結果相符。
- ◆ 北向海岸為臺灣主要堆積海漂垃圾的地點，佔所有海漂垃圾的65%。
- ◆ 西北向與北向的海岸雖只占整體海岸長度不到三成以上，但超過五成的垃圾都分佈於此，且容易在該地區型形成帶狀海漂垃圾。
- ◆ 由實驗結果顯示，洋流、季風風場和出海口垃圾是影響海漂垃圾堆積路徑和位置的主要因素。

結論

- ◆ 洋流、季風和海底地形是影響海漂垃圾堆積路徑和位置的主要因素。
- ◆ 秋冬季節受東北季風和洋流方向影響，垃圾主要集中於臺灣東南部和西南部沿岸，且西南部沿岸會有大量堆積的情形。
- ◆ 春夏季節受西南季風和洋流方向影響，海漂垃圾主要會堆積在北部和東北角，部分會堆積在南部沿岸。
- ◆ 堆積於出海口的海漂垃圾受季風的影響顯著，會因風場方向影響擴大堆積於沿岸的範圍，且颱風季節影響最大。
- ◆ 我們動態模擬一整年海漂垃圾的移動和堆積，發現大量海漂垃圾集中於彰化-台南、桃園-基隆二區域。模擬結果與海保署研界報告中的兩大海廢熱區為北部海岸、西南海岸相符合。
- ◆ 未來實驗模擬可再針對風場變化、海漂垃圾種類等變因做比較，希望可以得到更多海漂垃圾移動和堆積的相關資訊，以利未來進行海漂垃圾的攔截或清運。

