

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 地球科學科

團隊合作獎

080507

驚天「凍」地-深海環流之探討

學校名稱：桃園市中壢區華勛國民小學

作者：	指導老師：
小六 范紓瑜	羅 宥
小六 黃晏伶	
小六 孟華偉	
小六 李政泰	
小六 蕭潔穗	
小六 吳咏倪	

關鍵詞：溫鹽環流、密度流、全球暖化

## 摘要

氣候變遷會影響海洋中海水的性質及流動。因此，本研究模擬海洋中的洋流溫度與鹽度不同時，所造成的海洋洋流流動的現象。實驗方法為配製鹽度或溫度不同的水，模擬不同密度之海水，使用實驗裝置觀察。根據實驗結果發現，當溫度差或鹽度差增加時，使密度差加大，則洋流流速加快。密度大的海水會下沉至密度小的海水下方。不同密度的水呈現出海洋中海水分層的現象，當靜止一段時間後，一團密度相近的海水形成，則會成為所謂的水團。另外，我們推論當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中，只要鹽度差縮小到0.4‰以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降或流動減緩，甚至停止。

## 壹、研究動機









在課堂上，我們上網進行小組查資料，討論全球暖化的影響。當我們看到北極熊瘦成了皮包骨模樣的影片時，另我們怵目驚心。近年全球暖化的關係，導致北極的海冰縮減至歷來最低紀錄，迫使動物必須前往他地尋找食物。北極融冰造成的影響卻不只這些，還會導致海平面上升，沿海低海拔地區將會被海水淹沒。另外，還有新聞提到北極融冰，造成全球深海環流癱瘓，北半球地區將如同進入「冰河時期」。什麼？！從北極熊的問題到洋流的癱瘓，這一切都讓我們有很多疑問？！看不見的深海洋流也會造成這麼大的影響嗎？它是怎麼流動的呢？它有可能會停止嗎？這開啟了我們想要對深海環流更多的研究。

## 貳、研究目的

- 一、探討模擬海洋中不同溫度的水團相遇後的情形。
  - (一) 探討兩種不同溫度水團相遇後的情形
  - (二) 探討三種不同溫度水團相遇後的情形
  - (三) 探討四種不同溫度水團相遇後的情形
- 二、探討海洋中因為密度不同，而引起的洋流垂直與水平流動之情形。
  - (一) 模擬海洋中因為鹽度不同，而引起的洋流垂直流動之情形。
  - (二) 模擬海洋中因為溫度不同，而引起的洋流水平流動之情形。
- 三、探討冰山溶解後，影響溫鹽環流流動的情形。

## 參、研究設備及器材

編號	名稱	編號	名稱
1	有隔板的水槽	9	有上、下各一孔的 1000ml 玻璃量筒
			
2	橡皮塞	10	開關閥
			
3	直徑 0.5cm 透明水管	11	製冰機
			
4	紅、黃、藍、綠色素	12	量筒 1000mL
			

5	<p>熱熔膠槍、膠條</p> 	13	<p>泡各種鹽度和溫度的水箱</p> 
6	<p>溫度計</p> 	14	<p>數位微量電子秤</p> 
7	<p>吸水器</p> 	15	<p>防水膠帶</p> 
8	<p>食鹽</p> 	16	<p>撈冰塊的小網子</p> 

## 肆、研究過程或方法

### 一、文獻探討

#### (一) 深海環流

##### 1. 龐大的熱能傳輸帶：溫鹽環流

劉雅章、陳方正(2005)北大西洋的「溫鹽環流」(Thermohaline Circulation)。以東西向平均的觀點來說，這就是從美洲東岸至非洲、歐洲西岸之間深約數百米的表層海水整體向北流動，在其北部邊緣(從拉布拉多海、格陵蘭以至挪威附近)沉降到海的底層，然後沿海底向南流動性。海水的含鹽量和溫度決定了其密度，在北大西洋鹽度(salinity)對密度影響特別大，即鹽度越高，密度越大。在乾燥和陽光充沛的亞熱帶地區(北緯15-35度)，海水蒸發作用強烈，因此溫度、鹽度和密度都很高，這海水在大西洋表層向北極方向流動，在此過程中其鹽度由於繼續蒸發而進一步提高，溫度則逐步下降，所以當到達北緯60度左右時，其密度顯著增高，自身浮力則減至很低，從而達到往下沉降的臨界點。然後，下沉水流在海底

重新啟程，沿著環流圈返回熱帶海域的底層。這樣，溫鹽環流將暖水沿著海面  
向北運送，而將相對較冷的水沿著海底送回南方，在北大西洋海域形成了傳送熱能的龐大「輸送帶」，它導致了西歐的氣候相對溫和。此外，溫鹽環流也與其他海域的環流圈相連接，共同構成龐大的傳輸帶系統，連通全世界各海洋的不同水域(圖2)。

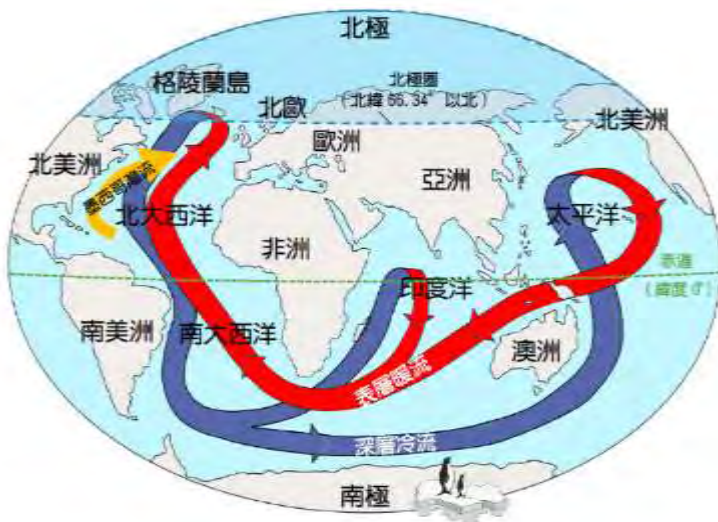


圖2:全球海洋輸送帶

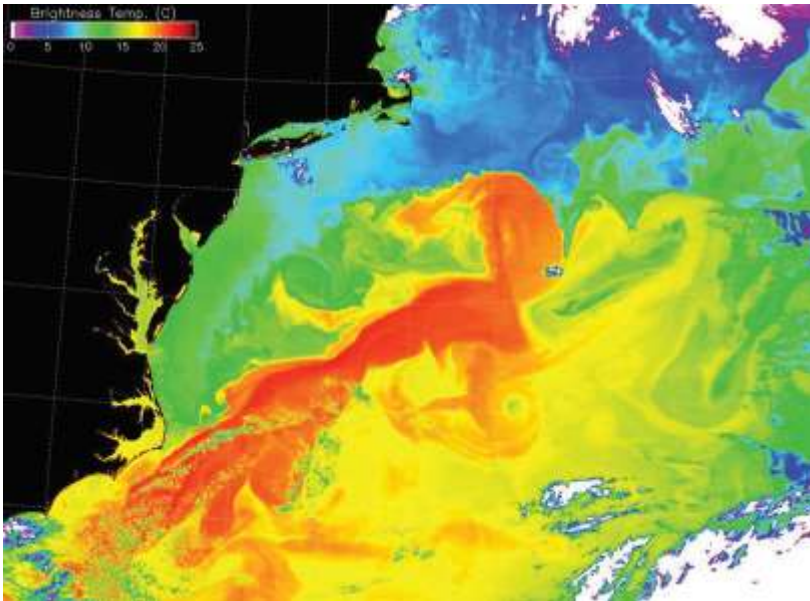
##### 2. 溫鹽環流狀態轉化的觸發

劉雅章、陳方正(2005)研究溫鹽環流的模擬實驗則顯示，轉化亦可能是由特定的外在因素所觸發，而最可能的有效觸發機制，看來就是在大西洋北部突然出現強大的淡水入注流。

這入注流會降低北大西洋表層海水的鹽度和密度，從而增加其浮力，減低其沉降運動，



溫鹽環流因而會迅速減慢在與新仙女木事件大致相同的時期，即大約在13,000-11,000年前，溫鹽環流幾乎完全停止運行。

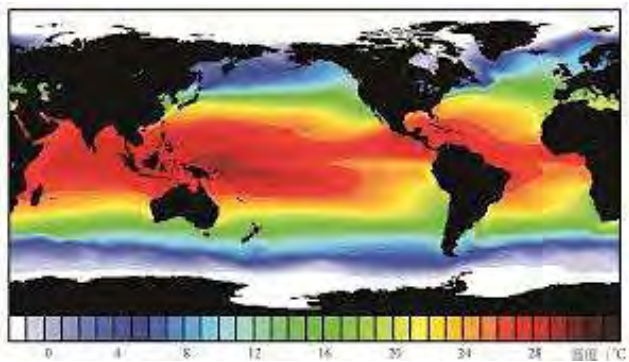


Courtesy of the U.S. National Aeronautics and Space Administration

圖3：2001年5月2日北大西洋海面溫度的衛星照片

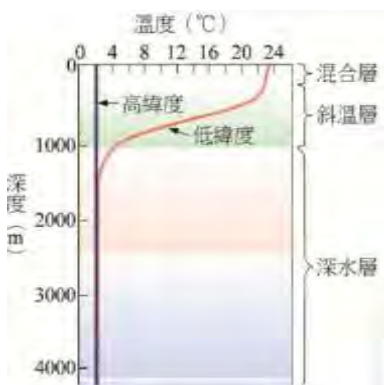
紅、綠、藍分別代表溫暖、中和及寒冷水溫；左邊黑影部分是美國東岸；雲層所遮蔽部份以白色表示。自左下角往東北方向延伸的暖水帶顯示強大的灣流（Gulf Stream）驅使高溫海水從低緯流向高緯地區。

(二)海水的溫度：



在熱帶海域一般海水表面的溫度，約在攝氏 30°C 左右；在亞熱帶地區，海水表面溫度差不多從 28°C 到 18°C 左右；而在溫帶地區，則從 20°C 到 10°C 左右；在寒帶地區，差不多從 10°C 到 2°C 左右；在極區，差不多在 2°C 到 0°C 左右。

圖 4 全球海洋表面溫度



1.混合層: 因海水受到各種作用而攪動，此層海水的混合相當均勻，水溫在垂直方向上變化不大。

2.斜溫層: 高緯區，上下層海水溫度差距不大，故不明顯。

圖 5 海水的分層

### (三)海水的鹽度：

鹽度(Salinity，一般均用 S 代表)：1902 年設定鹽度之定義為「將海水中一切碳化合物(碳酸鹽)、溴及碘化物等均代換為氯化物，同時將所有有機物完全氧化，則一公斤海水中所含有固體物質之總克數」。所以鹽度是重量百分比濃度，其單位為千分之一(‰)。換言之，鹽度係指一公斤海水中含有之溶解物質的總克數。

### 海水鹽度分佈

大洋中鹽度介於 33-37‰，降雨多或有河流注入之海面甚至可小於 5‰，中緯度蒸發過大之孤立海面 則可高達 39‰ (如地中海、紅海 41‰)，表面海水的平均鹽度，北大西洋最高(35.5‰)，南大西洋及南太平洋較小(35.2‰)，北太平洋最小(34.2‰)。

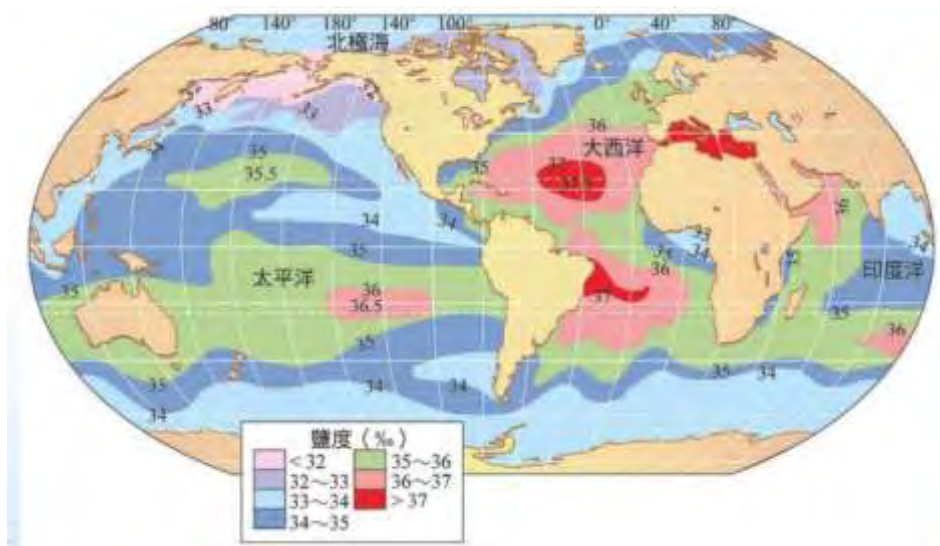


圖 6 全球海水鹽度分佈圖

### (四)水團：

羅立(2014)美國地球觀測所的研究員布羅克 (Wallace S. Broecker) 在1987年彙整了許多海洋化學的證據，提出地球上兩個主要的深層水產生區域，一個是在北大西洋，產生的深層水稱為「北大西洋深層水」；而另一個則是在南極，產生的底層水被稱為「南極底層水」。這些深層海水的形成自然與海水密度的變化有關，而控制海水密度的主因就是水體的溫度與鹽度，當溫度下降或鹽度上升時，海水的密度就會增加，若一團密度相近的海水形成，就成為所謂的「水團」(water mass)，在物理或化學性質上可以跟周圍的海水做區隔。

## 肆、實驗過程與方法

本章將開始進行我們的實驗，透過文獻能夠知道在海洋中存在著不同溫度的水團，我們想要探討不同溫度的海水相遇後會產生什麼樣的情況，以及海洋中因為密度不同，而會引起的洋流垂直與水平流動之探討。

### 一、探討海洋中水團水層分層情形

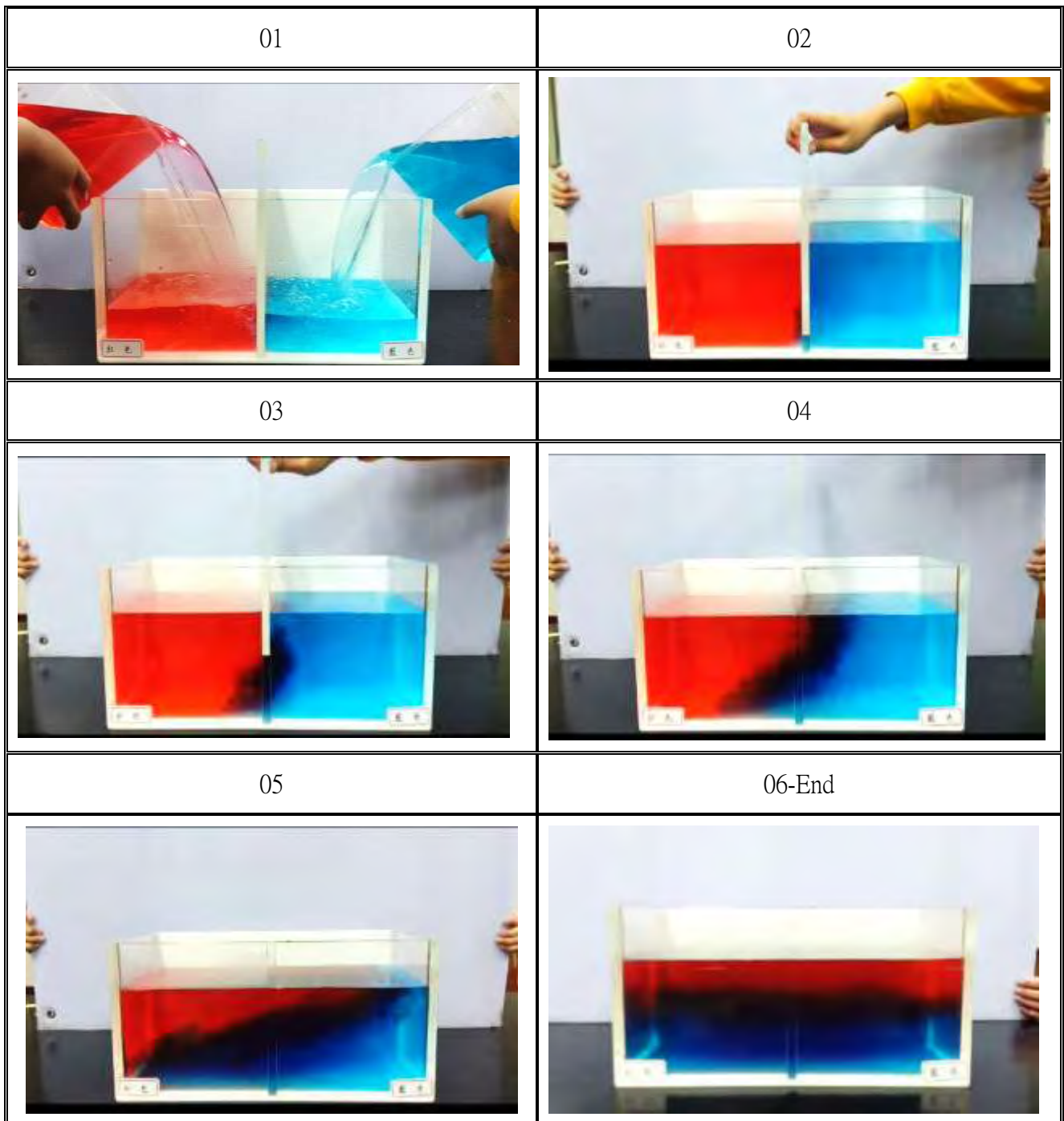
#### 【實驗一】：探討海洋中不同溫度水團，其水層分層情形

- (一) 發現問題：雖然透過文獻資料我們可以知道，一團密度相近的海水形成，會成為所謂的水團，而控制海水密度的主因就是水體的溫度與鹽度，但是海水的溫度和鹽度的不同，真的會讓海水之間有所區隔嗎?這是我們的疑問。於是我們想要做實驗看看。
- (二) 實驗假設：不同溫度的海水相遇時，因溫度不同而形成不同的水層分層。
- (三) 實驗步驟：
1. 首先我們先調兩種不同溫度的水做實驗，接著實驗三種和四種不同溫度的水，接觸後的情形。(在這裡我們只控制海水的溫度)
  2. 調製模擬各種海水溫度並調顏色，30°C的水(紅色)，20°C的水(黃色)，10°C的水(綠色)，0°C的水(藍色)。
  3. 將模擬不同溫度的水倒入分隔箱中。
  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. 實驗兩種不同溫度的水時，使用一個分隔板；實驗三種不同溫度的水時，使用兩個自製的分隔板；實驗四種不同溫度的水，則使用三個自製的分隔板
  6. 以下是開始實驗的過程圖，我們用手機的錄影功能，全程拍攝，並截圖說明過程。

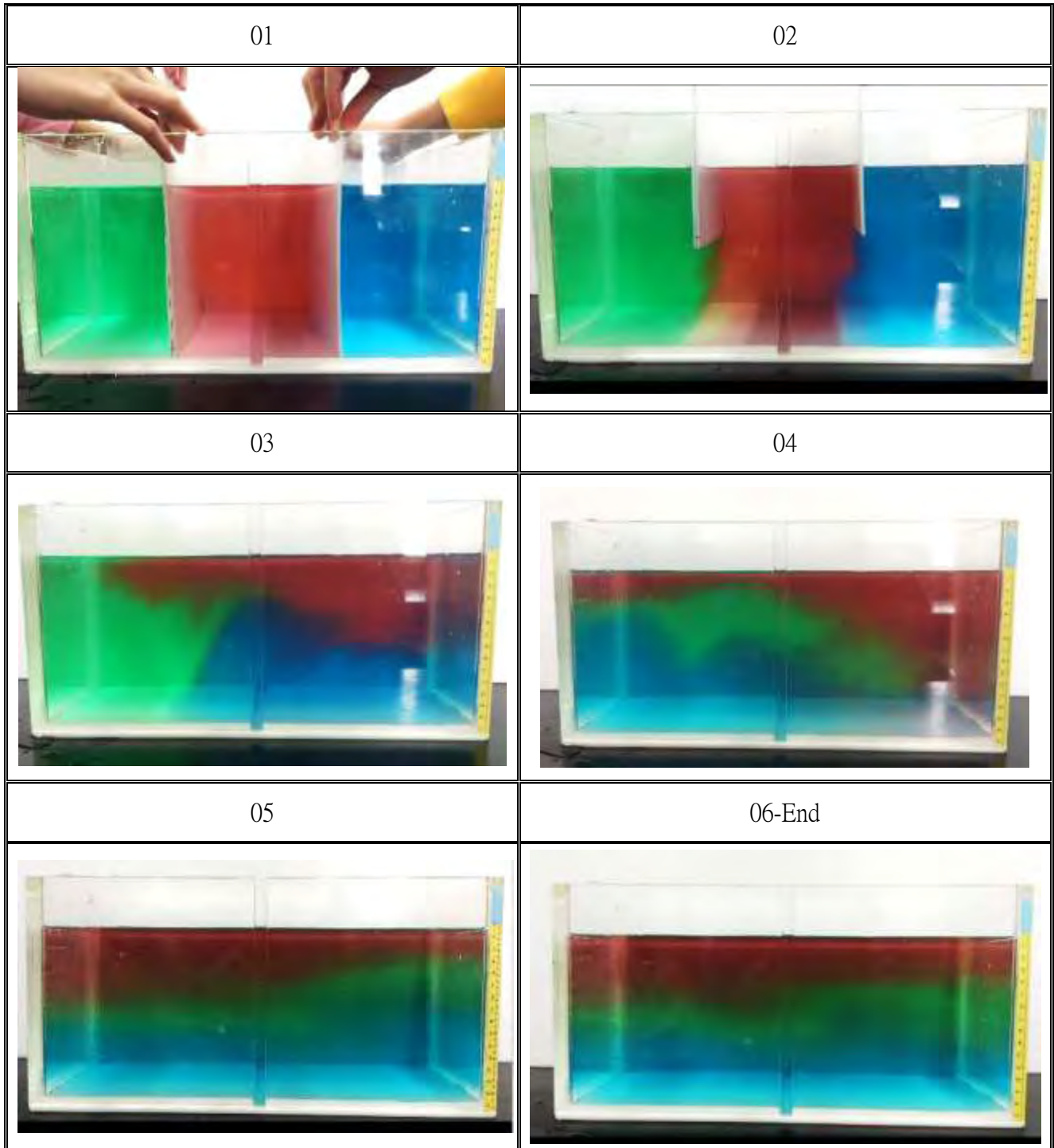


(四) 實驗過程：

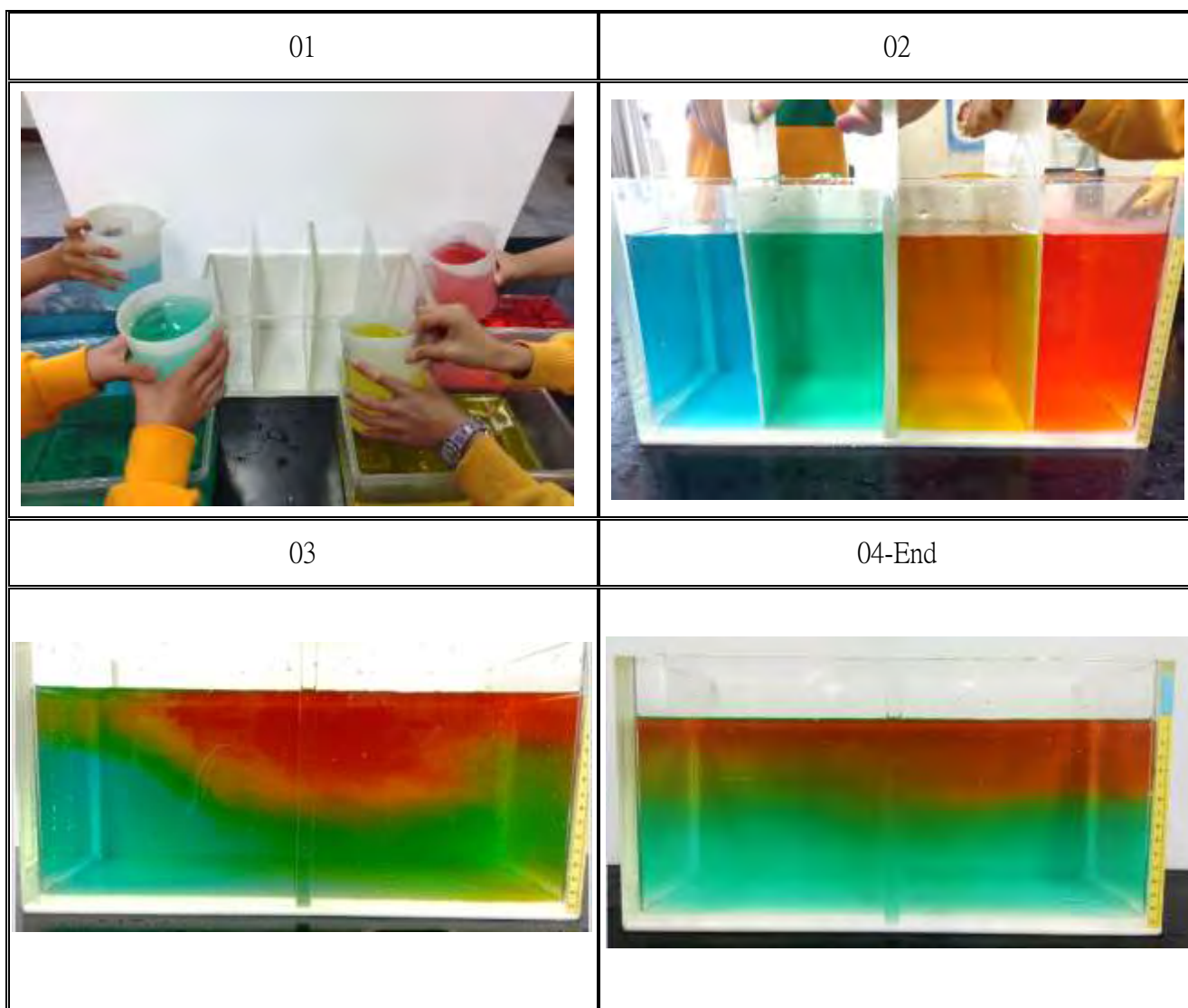
(1) 探討兩種不同溫度， $0^{\circ}\text{C}$  的水(藍色)和  $30^{\circ}\text{C}$  的水(紅色)，接觸後的情形



(2) 探討三種不同溫度的水，0°C(藍色)、10°C(綠色)和 30°C(紅色)，接觸後的情形



(3) 探討四種不同溫度的水，0°C(藍色)、10°C(綠色)、20°C(黃色)和 30°C(紅色)，接觸後的情形



(五) 【實驗一】小結：

根據實驗結果，我們分別針對兩種、三種和四種不同溫度(0°C、10°C、20°C和 30°C)的水相遇後的情形做探討，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、探討海洋中因為密度不同，而引起的洋流垂直與水平流動之情形。



### 【實驗二】：當溫度相同時，在不同鹽度下，洋流垂直流動情形的探討。

(一) 發現問題：由於北極地區乾冷的空氣會掠取該區海水的熱量，並使海水快速地蒸發，於是鹽度與密度增加，海水下沉，當它抵達密度相同的水層時，便停止下沉，並平行擴散很長一段距離。因此我們想要探討在不同鹽度下，洋流下沉情形及其流速。

(二) 實驗假設：海水鹽度差愈大，洋流流速愈快。

(三) 實驗步驟：

#### 1. 設計實驗裝置

	<p>訂做1000ml量筒，量筒上、下各有一孔，可以將設計好的連接管(如下圖)，將兩個量筒連接起來。</p>
	<p>接著取一段長10公分，直徑0.5cm的透明水管，一頭接著橡皮塞，另一頭接開關閥，設計讓開關閥在中間。裝水之後有漏水的地方用熱融膠與防水膠帶補好縫隙，確定水不會外漏。</p>



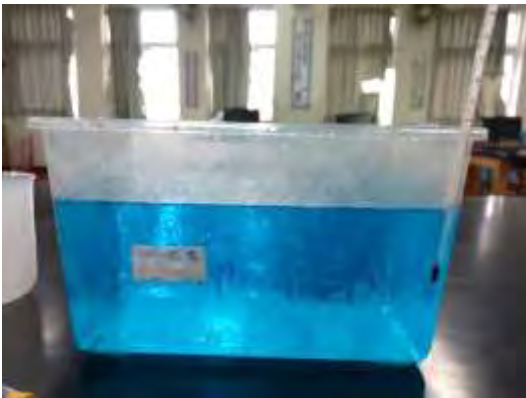


實驗器材

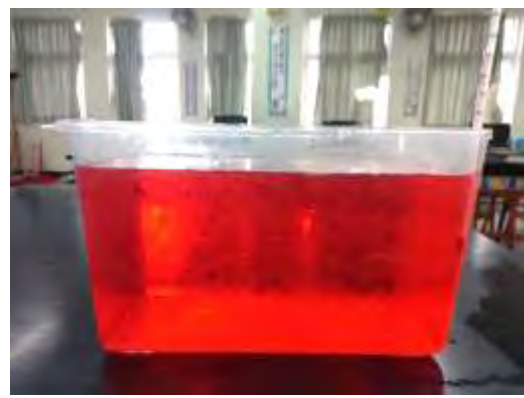
完成圖

- 先調製一般海水平均鹽度35‰的水，調好後加藍色色素後為藍色液體；另外調製不同鹽度的海水，鹽度分別為(5‰、10‰、15‰、20‰、25‰、30‰)，並加紅色色素後為紅色液體，方便觀察。

一般海水平均鹽度35‰




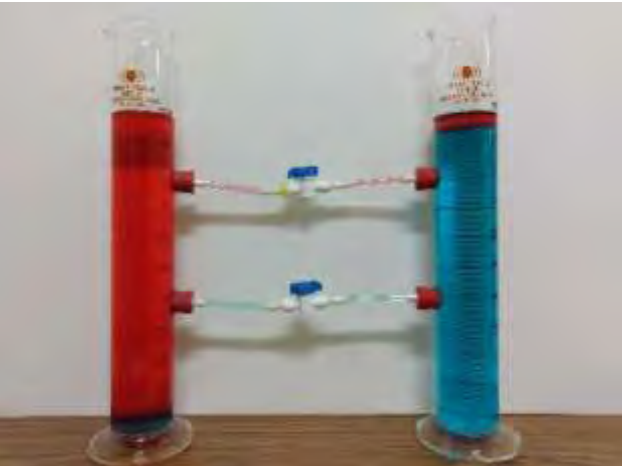

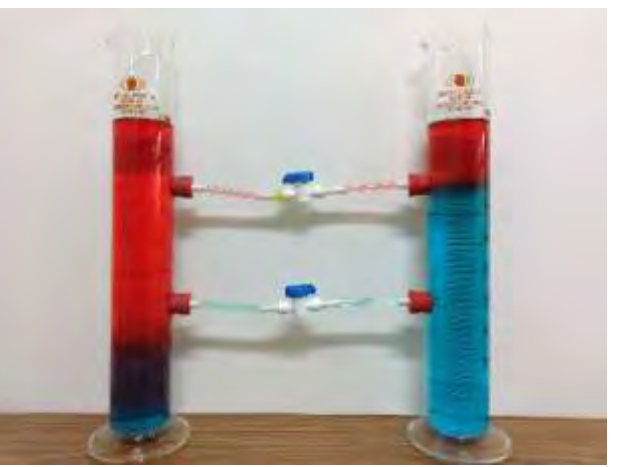


鹽度分別為(5‰、10‰、15‰、20‰、25‰、30‰)



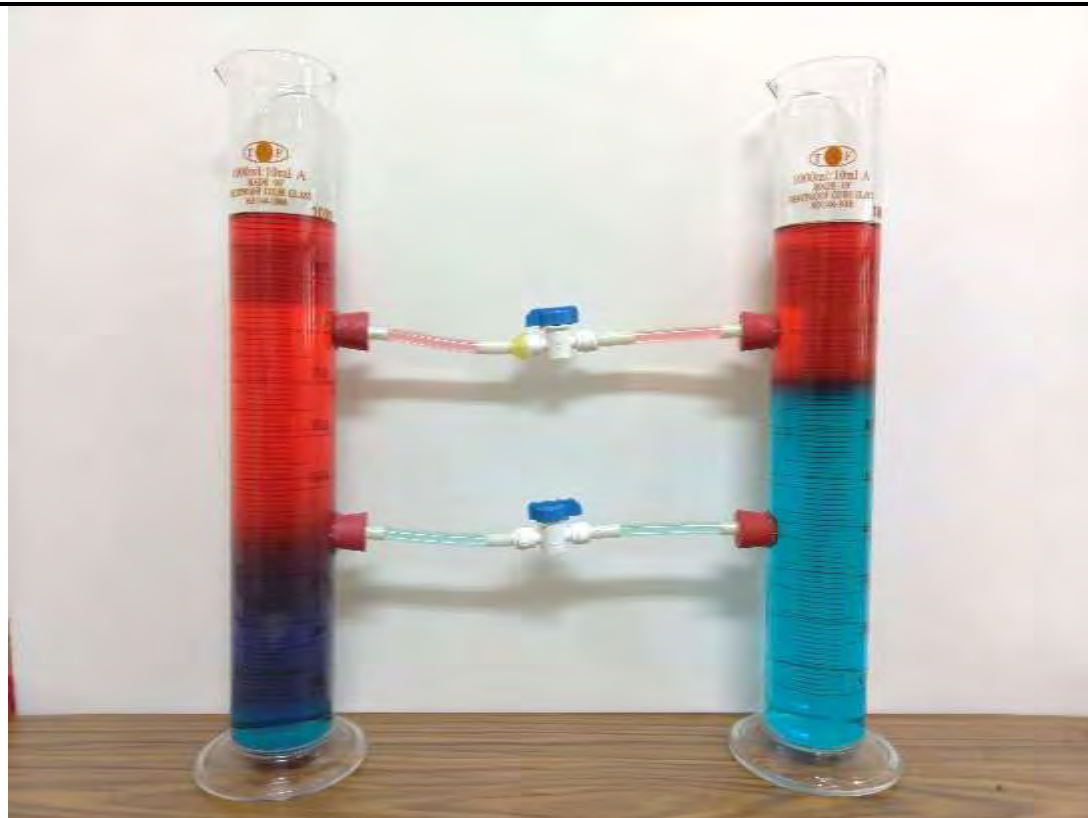
- 將(35‰)鹽度的海水倒入右邊瓶中，另外，將各種不同濃度的海水倒入左邊瓶中，倒完之後再把上方和下方連接管子的開關閥打開後開始計時，觀察到不同密度的水開始流動。
- 觀察並計時，記錄其流速。



(四) 實驗過程

01-開始計時	02
	
03	04
	
05	06-結束，停止計時
	

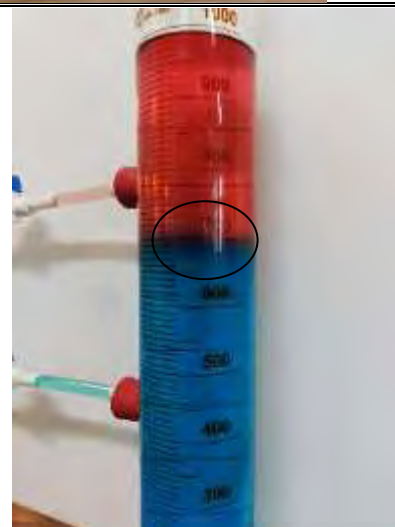
3.當不同濃度的鹽水混和後，在左邊瓶中下半部會看到混和後鹽水的顏色呈現藍紫色，右上方量筒紅色液體到達右邊量筒中的 700ml 處，即測量停止。



流動了 100ml



流動了 200ml



流動了 300ml

說明：將中間的開關閥打開後，不同鹽度的水則開始流動，此張圖為左邊紅色液體鹽度為(20‰)的水，右邊藍色液體為一般海水鹽度(35‰)，藍色液體鹽度大、密度大，則往左邊密度較小的紅色液體方流動而下沉，而密度較小的紅色液體會往密度較大的藍色液體方流動而上浮。

備註 1：當藍色液體流動到左下方的紅色液體時，左下方的混和色為藍紫色且模糊不明確，而紅色液體流動到右上方的藍色液體時，右上方顏色為紅色，混和色較少，容易觀察與紀錄，因此我們決定當紅色液體流到藍色液體的量筒 700ml 處時，即停止測量。

備註 2：為方便觀察，在後方放置白色板子，使液體顏色可以觀察的更加明顯。

(五) 實驗紀錄：

1. 下表(1)~(6)為實驗中模擬海洋中因為鹽度不同，而引起的密度流之情形。

2. 下表左邊量筒倒入鹽度分別為(5‰、10‰、15‰、20‰、25‰、30‰)的紅色液體，右邊量筒模擬一般海水平均鹽度 35‰ (藍色液體)，重複實驗四次，取三次較為接近的實驗數值紀錄。以測量不同鹽度差之海水流動時所需時間，及其流速。

3. 每次測量水溫皆固定溫度為 18°C ~ 20°C，紅色液體流動到右邊量筒至 900ml 時，為流動了 100ml，流動至 800ml 時為流動了 200ml，流動至 700ml 時為流動了 300ml。

(1) 測量鹽度 5‰ (紅色液體) 和 35‰ (藍色液體)，兩種液體鹽度差流動時所需時間。

次數	左邊量筒		右邊量筒		流動至100ml 所需時間 (min)	流動至200ml 所需時間 (min)	流動至300ml 所需時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1		5		35	31	60	96
2		5		35	30	53	84
3		5		35	32	59	94
平 均					31	57	91

備註：平均值四捨五入，取到整數位。

(2) 測量鹽度 10‰ (紅色液體) 和 35‰ (藍色液體)，兩種液體鹽度差流動時所需時間。

次數	左邊量筒		右邊量筒		流動至100ml 所需時間 (min)	流動至200ml 所需時間 (min)	流動至300ml 所需時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1		10		35	41	80	127
2		10		35	42	83	128
3		10		35	47	82	134
平 均					43	82	130

(3) 測量鹽度15‰(紅色液體)和35‰(藍色液體)，兩種液體鹽度差流動時所需時間。

次數	左邊量筒		右邊量筒		流動至100ml 所需時間 (min)	流動至200ml 所需時間 (min)	流動至300ml 所需時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1	/	15	/	35	51	103	168
2	/	15	/	35	54	108	176
3	/	15	/	35	53	104	173
平 均					53	105	172

(4) 測量鹽度20‰(紅色液體)和35‰(藍色液體)，兩種液體鹽度差流動時所需時間。

次數	左邊量筒		右邊量筒		流動至100ml 所需時間 (min)	流動至200ml 所需時間 (min)	流動至300ml 所需時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1	/	20	/	35	60	112	173
2	/	20	/	35	66	115	181
3	/	20	/	35	65	128	196
平 均					64	118	183

(5) 測量鹽度25‰(紅色液體)和35‰(藍色液體)，兩種液體鹽度差流動時所需時間。

次數	左邊量筒		右邊量筒		流動至100ml 所需時間 (min)	流動至200ml 所需時間 (min)	流動至300ml 所需時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1	/	25	/	35	86	176	258
2	/	25	/	35	91	183	276
3	/	25	/	35	88	178	269
平 均					88	179	268

(6) 測量鹽度30‰(紅色液體)和35‰(藍色液體)，兩種液體鹽度差流動時所需時間。

次數	左邊量筒		右邊量筒		流動至100ml 所需時間 (min)	流動至200ml 所需時間 (min)	流動至300ml 所需時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1	/	30	/	35	111	227	326
2	/	30	/	35	104	206	311
3	/	30	/	35	108	223	339
平 均					108	219	325

(7) 綜合上述6種不同鹽度差的實驗，取其平均值。

實驗	左邊量筒		右邊量筒		鹽度差(‰)	流動至100ml所需平均時間(min)	流動至200ml所需平均時間(min)	流動至300ml所需平均時間(min)
	溫度(°C)	鹽度(‰)	溫度(°C)	鹽度(‰)				
1	/	5	/	35	30	31	57	91
2	/	10	/	35	25	43	82	130
3	/	15	/	35	20	53	105	172
4	/	20	/	35	15	64	118	183
5	/	25	/	35	10	88	179	268
6	/	30	/	35	5	108	219	325

(8)將上述表格繪製成圖表

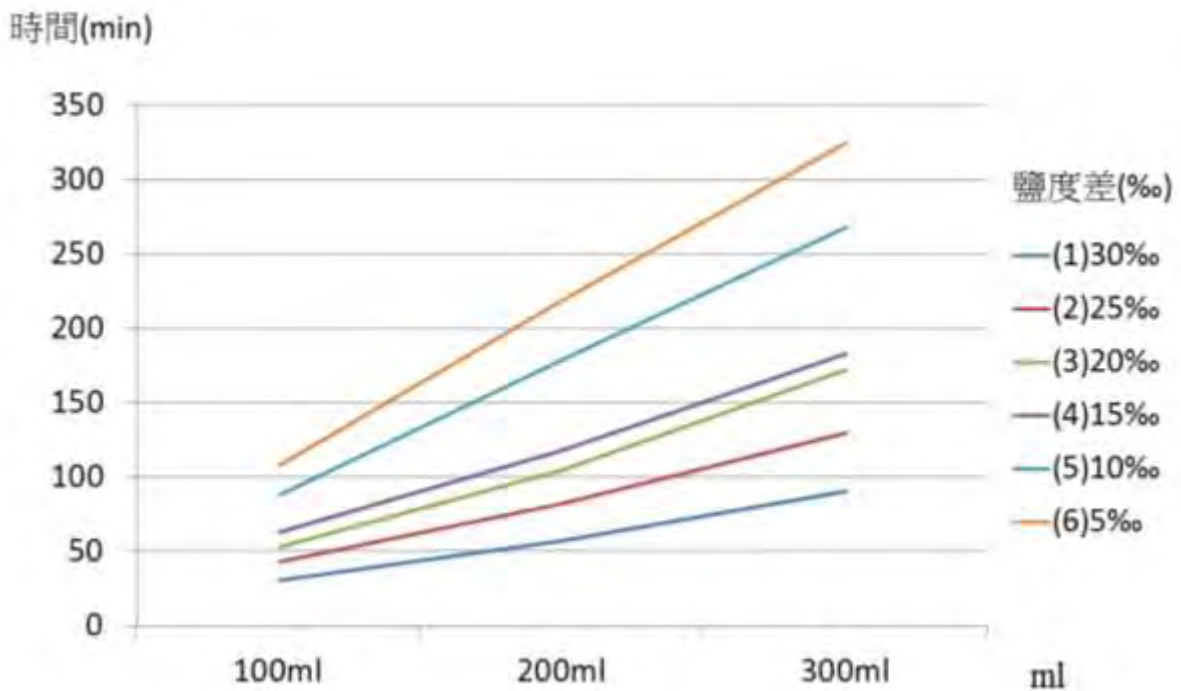


圖 2-洋流鹽度差與流動所需時間之關係圖

(六) 【實驗二】小結：

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。



### 【實驗三】：當鹽度相同時，在不同溫度下，洋流流速的快慢探討

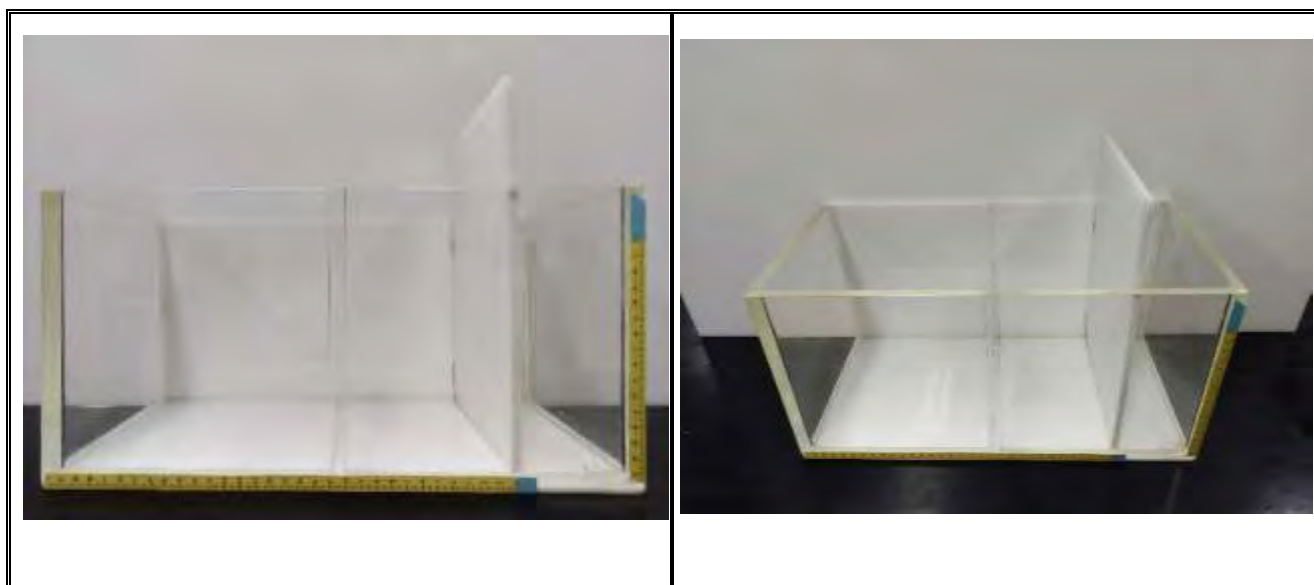
(一) 發現問題：透過文獻資料，我們知道位於赤道地區的溫暖洋流會往高緯度地區移動，高緯度地區的寒流也會往低緯度地區移動。不同密度的水會相互產生對流，提供了深海洋流的動能。於是我們想要瞭解溫度不同的海水，在洋流流速方面快慢的探討。

(二) 實驗假設：溫度差愈大，洋流流速愈快

(三) 實驗步驟：

1. 先調製海水溫度設定為  $30^{\circ}\text{C}$  的海水(模擬為低緯度地區海水，溫度較高)，接著滴入 2g 的紅色色素，並將調製完成的紅色液體倒入分隔板左邊；另外調製各種不同溫度( $0^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ )的水(模擬為中、高緯度地區海水，溫度較低)滴入 2g 的藍色、綠色、黃色色素，將調製完成的液體分別倒入分隔板右邊水槽。

2. 實驗器材：


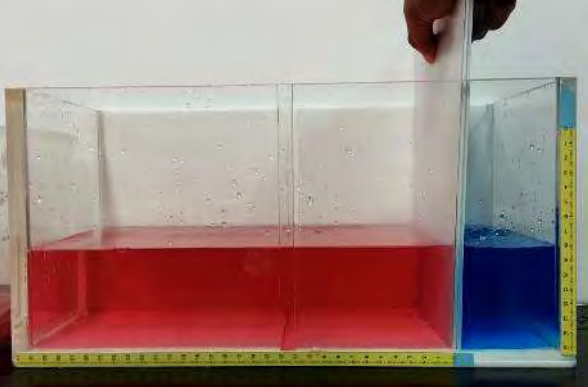
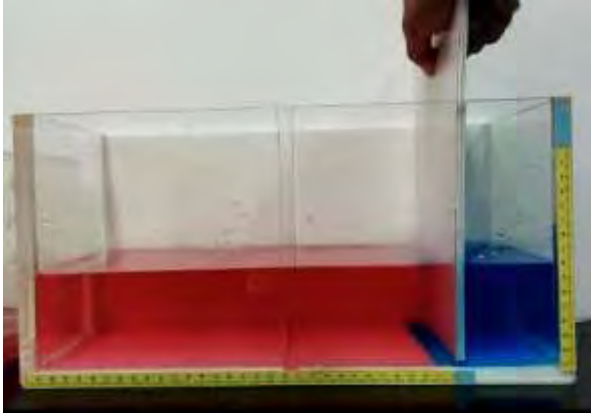
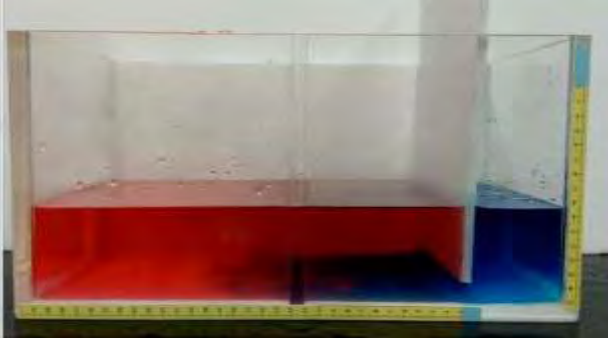
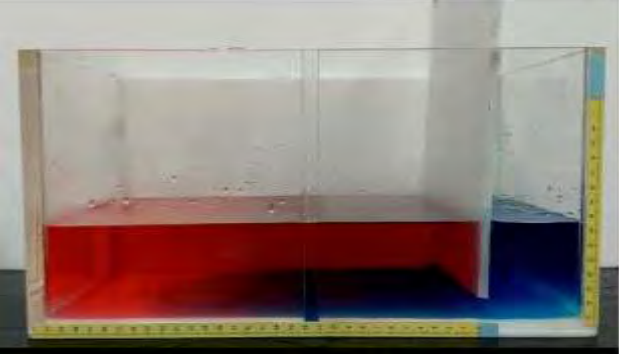
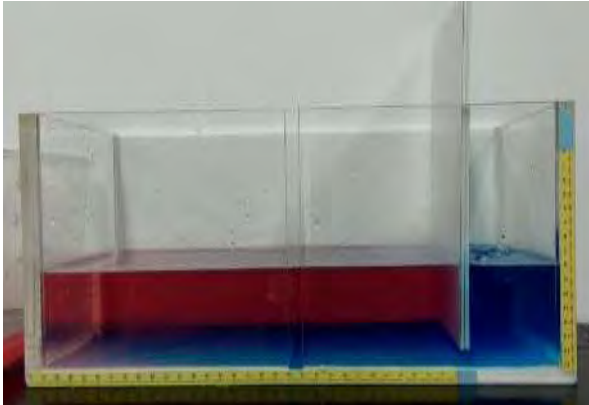


我們自製隔板將水箱分隔成左邊水槽和右邊水槽，左邊水槽從隔板定為起始點 0，到左邊水箱的邊緣總長度為 30cm。

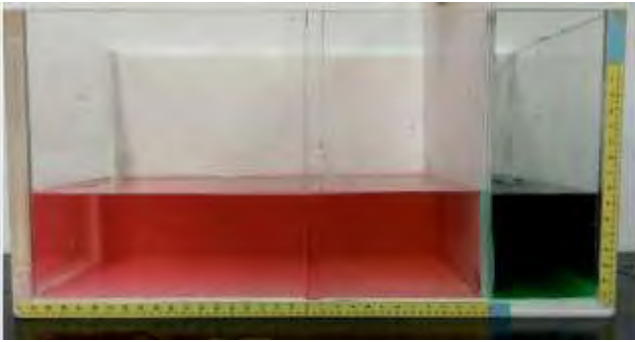

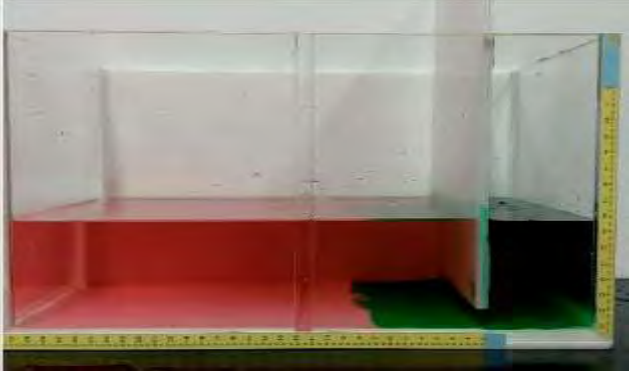
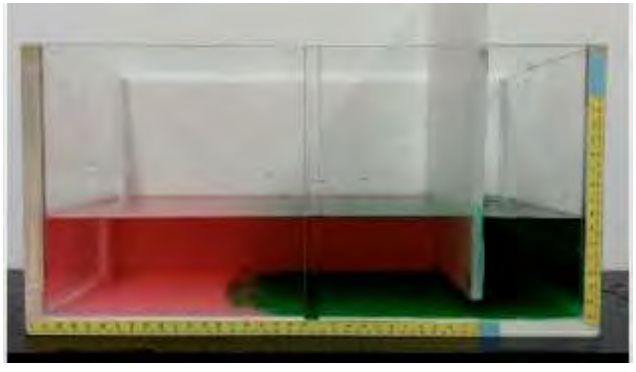
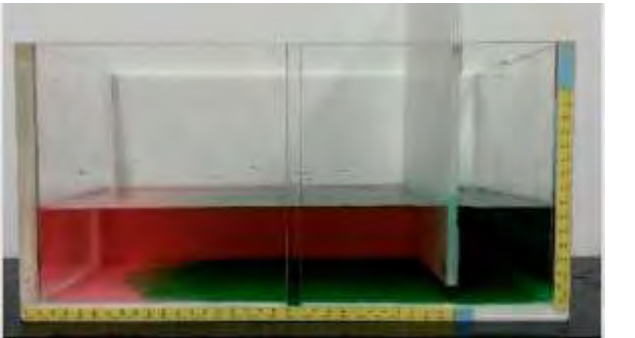
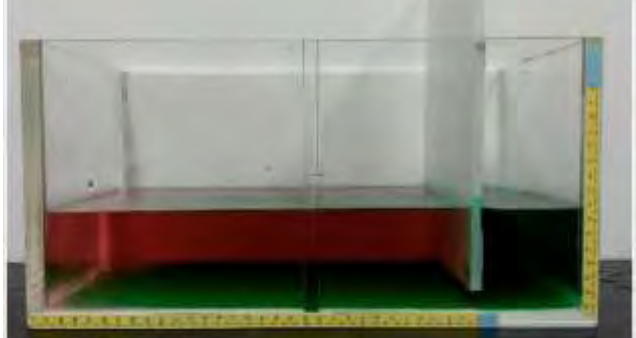
3. 在左邊水槽倒入  $30^{\circ}\text{C}$  的紅色液體，右邊水槽分別倒入為  $0^{\circ}\text{C}$  (藍色液體)、 $10^{\circ}\text{C}$  (綠色液體)、 $20^{\circ}\text{C}$  (黃色液體)，重複實驗 3 次以測量不同溫度之水進入到  $30^{\circ}\text{C}$  的水中所需時間及其流速。

(四) 實驗過程：

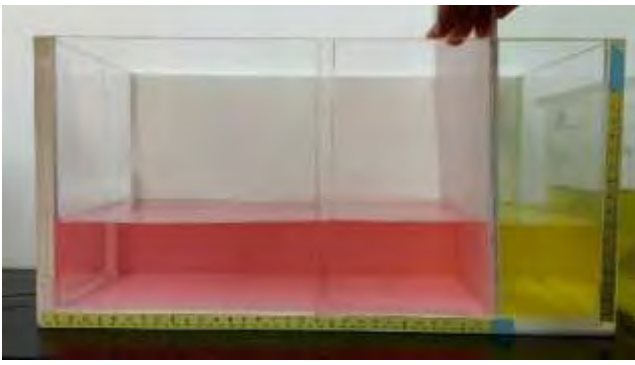
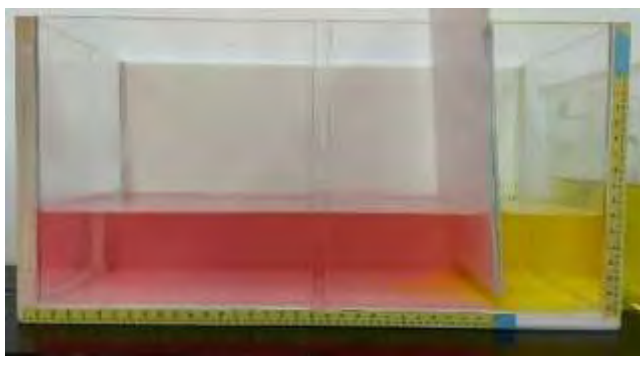
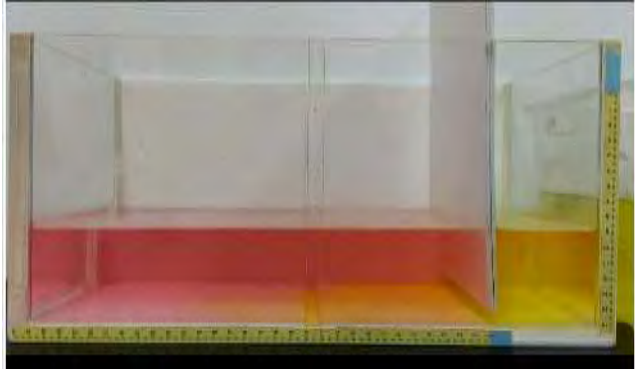
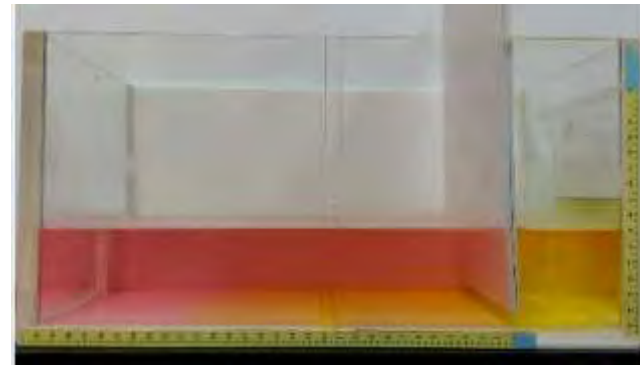
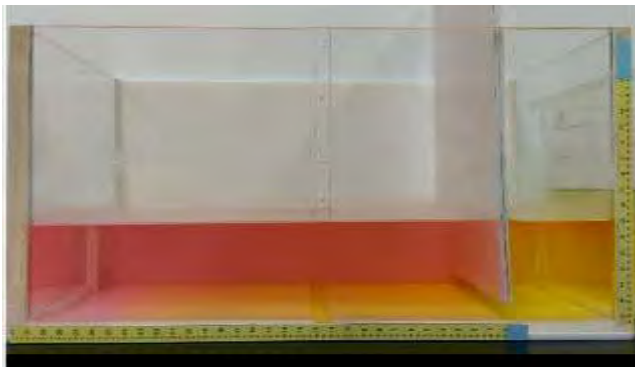
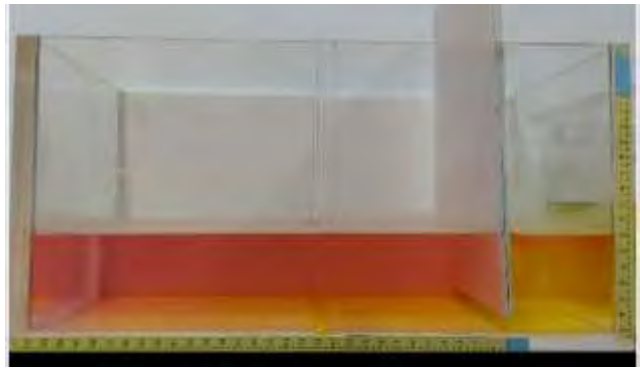
1. 模擬 0°C 的海水在 30°C 的水中所需時間及其流速。

<p>01.將調好濃度的水，分別滴上色素。將不同溫度的水分別倒入左邊水槽和右邊水槽。</p>	<p>02.將分隔板往上移 1cm</p>
	
<p>03</p>	<p>04</p>
	
<p>05</p>	<p>06 當藍色液體流到 30 公分處(即水箱邊緣)，就停止計時。</p>
	

2. 模擬10°C的海水在30°C的水中所需時間及其流速。

01. 將調好濃度的水，分別滴上色素。將不同溫度的水分別倒入左邊水槽和右邊水槽。	02 將分隔板往上移1cm
	
03	04
	
05	06-當綠色液體流到30公分處(即水箱邊緣)，就停止計時。
	

3. 模擬20°C的海水在30°C的水中所需時間及其流速。

01. 將調好濃度的水，分別滴上色素。將不同溫度的水分別倒入左邊水槽和右邊水槽。	02 將分隔板往上移1cm
	
03	04
	
05	06-當黃色液體流到30公分處(即水箱邊緣)，就停止計時。
	

(五) 實驗記錄

(1) 測量0°C(藍色液體)進入溫度30°C(紅色液體)水中所需時間及其流速。

次數	左邊水槽		右邊水槽		位移至30cm所需時間 (sec)	流速(cm/sec)
	溫度(°C)	鹽度(‰)	溫度(°C)	鹽度(‰)		
1	30		0		26	1.15
2	30		0		28	1.07
3	30		0		29	1.03
4	30		0		30	1.00
平 均					28.25	1.06

(2) 測量10°C(綠色液體)進入溫度30°C(紅色液體)水中所需時間及其流速。

次數	左邊水槽		右邊水槽		位移至30cm所需時間 (sec)	流速(cm/sec)
	溫度(°C)	鹽度(‰)	溫度(°C)	鹽度(‰)		
1	30		10		43	0.69
2	30		10		42	0.71
3	30		10		45	0.66
4	30		10		46	0.65
平 均					44	0.67

(3) 測量20°C(黃色液體)進入溫度30°C(紅色液體)水中所需時間及其流速。

次數	左邊水槽		右邊水槽		位移至30cm所需時間 (sec)	流速(cm/sec)
	溫度(°C)	鹽度(‰)	溫度(°C)	鹽度(‰)		
1	30		20		87	0.34
2	30		20		89	0.33
3	30		20		80	0.37
4	30		20		82	0.36
平 均					84.5	0.35



(7) 綜合上述3種不同溫差進入30°C(紅色液體)水中所需時間及其流速的實驗，取其平均值。

實驗	左邊水槽		右邊水槽		溫度差(°C)	流動至30cm所需 平均時間(sec)	平均流速(cm/sec)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1	30		0		30	28.25	1.06
2	30		10		20	44	0.67
3	30		20		10	84.5	0.35

(8) 海水溫度差與平均流速和平均流動時間關係圖

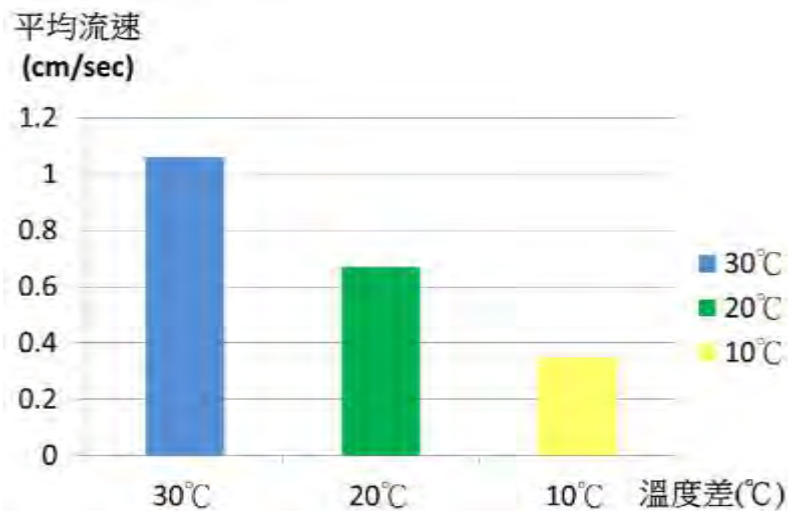


圖 3-1 海水溫度差與流速關係圖

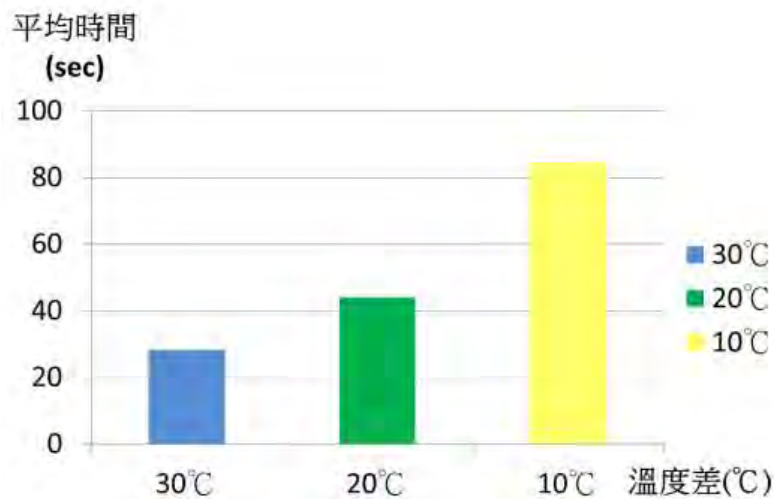


圖 3-2 海水溫度差與流動時間關係圖

#### (六) 【實驗三】小結

根據我們所做的實驗結果，洋流的溫度差愈大，流速就愈快。0°C的水(藍色)進入溫度 30°C水中流動至 30cm 所需平均時間為 28.25 秒，平均流速 1.06(cm/sec)；10°C的水(綠色)進入溫度 30°C水中流動至 30cm 所需平均時間為 44 秒，平均流速 0.67 (cm/sec)；20°C的水(黃色)進入溫度 30°C水中流動至 30cm 所需平均時間為 84.5 秒，平均流速 0.35 (cm/sec)。

**【實驗四】：探討冰山溶解後，影響溫鹽環流流動的情形。**

(一) 發現問題:根據文獻資料,我們可以知道在乾燥和陽光充沛的亞熱帶地區(北緯15-35度),海水蒸發作用強烈,因此溫度、鹽度和密度都很高,這海水在大西洋表層向北極方向流動,在此過程中其鹽度由於繼續蒸發而進一步提高,溫度則逐步下降,北大西洋暖流往北流動到高緯度地區時,下沉到海底,那麼因為全球暖化冰山溶解後,注入的淡水要減少鹽度差的差距多少??才會有可能讓北大西洋洋流減緩沉降,甚至停止沉降!!

(二) 實驗設計:我們設計兩種溫度的暖流,分別為30°C和10°C,流到北極地區海水溫度0°C,使海水溫差分別是30°C和10°C,全球海水鹽度差最大平均為5‰,因此從0‰-5‰的範圍中,調製鹽度差。

**【實驗4-1】：探討冰山溶解後，30°C的暖流流到北極地區的海水沉降情形。**

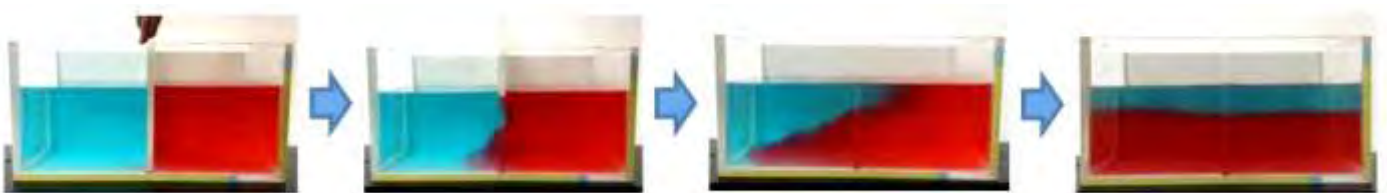
(一) 實驗假設:海水鹽度差愈小,北大西洋暖流可能減緩沉降,甚至停止沉降。

(二) 實驗步驟:

1. 調製30°C 鹽度分別為(1‰、2‰、3‰、4‰、5‰)的水(滴入紅色色素),另外調製0°C的冰水鹽度0‰(滴入藍色色素)。
2. 將兩種不同液體,30°C(紅色)鹽度(1‰、2‰、3‰、4‰、5‰)的水倒入右邊水槽,0°C(藍色)的冰水倒入左邊水槽。
3. 將分隔板拿出,觀察並紀錄。

(三) 實驗過程:

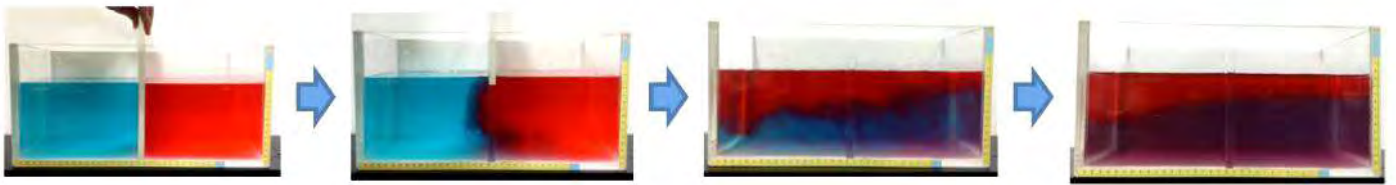
1. 圖 4-1-a: 30°C(紅色)鹽度 5‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



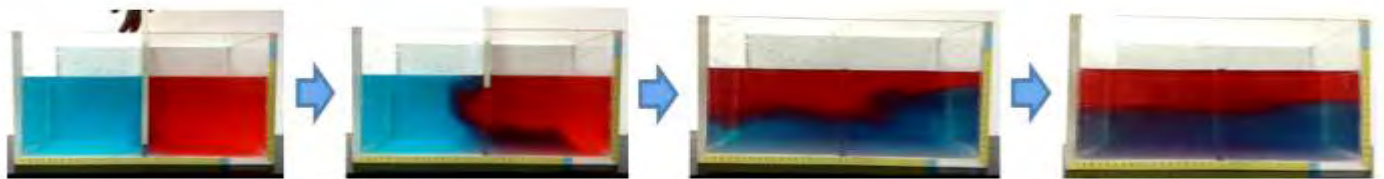
2. 圖 4-1-b: 30°C(紅色)鹽度 4‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



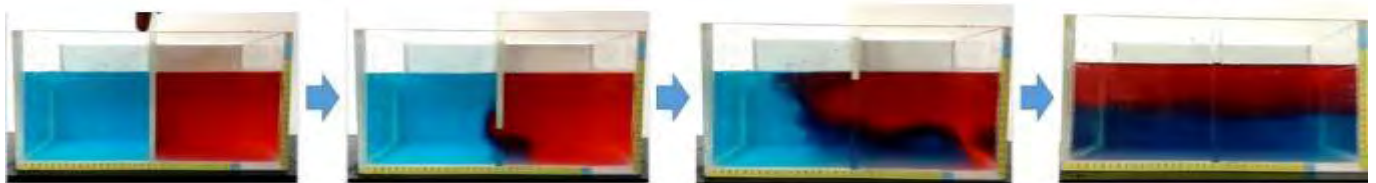
3. 圖 4-1-c：30°C(紅色)鹽度 3‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



4. 圖 4-1-d：30°C(紅色)鹽度 2‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



5. 圖 4-1-e：30°C(紅色)鹽度 1‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



#### (四)【實驗 4-1】小結





1. 根據實驗結果，我們可以從圖 4-1-a 時，明顯看到 30°C 鹽度 5‰的水直接沉入到 0°C 的冰水下方了。圖 4-1-b 時，我們可以看到 30°C 鹽度 4‰的水，有大量的紅色液體沉降到 0°C 的冰水中，少部分還漂浮在表面。圖 4-1-c 明顯看出，溫度 30°C 鹽度 3‰的水進入到 0°C 的冰水中時，已經有一些紅色液體下沉，而使得 0°C 的冰水(藍色液體)變成紅紫色。
2. 圖 4-1-d 和圖 4-1-e 時，可以明顯看到 30°C 鹽度 1‰-2‰的水已經無法沉到 0°C 冰水的下方了。
3. 由上述實驗我們可知，當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中時，溫度 30°C 的暖流流到北極地區，鹽度差縮小到 2‰以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。

**【實驗4-2】：探討冰山溶解後，10°C的暖流流到北極地區的海水沉降情形。**

(一) 實驗假設：海水鹽度差愈小，北大西洋暖流可能減緩沉降，甚至停止沉降。

(二) 實驗步驟：

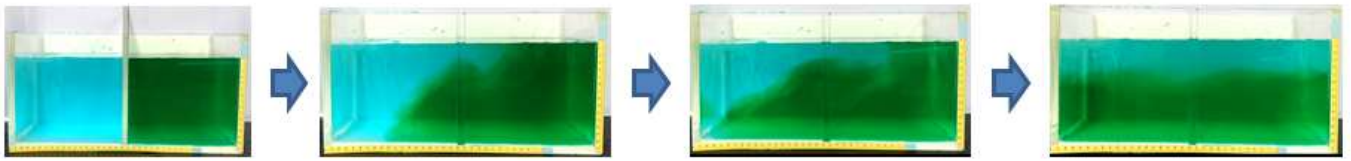
1. 我們拿兩個水箱，分別在兩個水箱中倒入5公升的水。
2. 從學校的製冰機取得大量的冰塊，在兩個水箱中分別調製10°C和0°C的冰水。
3. 我們在5公升10°C的冰水中，分別加入鹽(5g、4g、3g、2g、1g)，調製鹽度分別為(1‰、0.8‰、0.6‰、0.4‰、0.2‰)的水
4. 5公升10°C的冰水中，鹽度分別為(1‰、0.8‰、0.6‰、0.4‰、0.2‰)的水中，滴入綠色色素，另外調製0°C的冰水鹽度0‰，滴入藍色色素。
5. 將兩種不同液體，10°C(綠色)鹽度(1‰、0.8‰、0.6‰、0.4‰、0.2‰)的水倒入右邊水槽，0°C(藍色)的冰水倒入左邊水槽。
6. 將分隔板拿出，觀察並紀錄。
7. 實驗步驟照片

1.在水箱中調製10°C和0°C的冰水。	2.使用數位微量電子秤調製鹽度。
	
3.將調製好的溫度與鹽度的冰水倒入水槽。	4.取出隔板開始實驗。
	

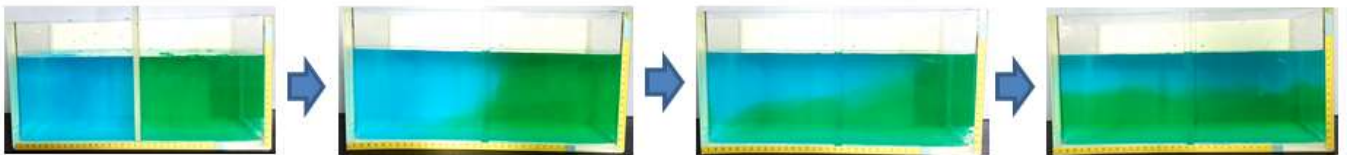


(四) 實驗過程：

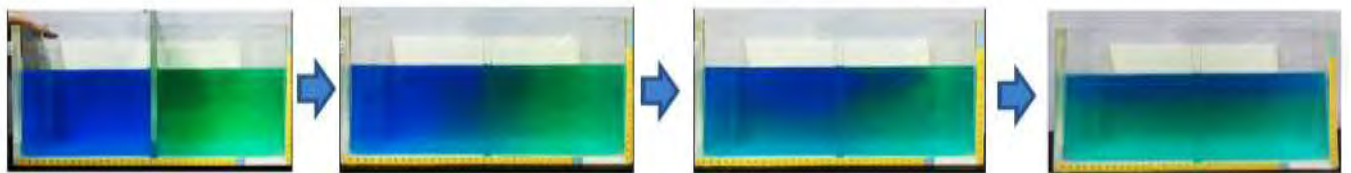
1. 圖 4-2-a：10°C(綠色)鹽度 1‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



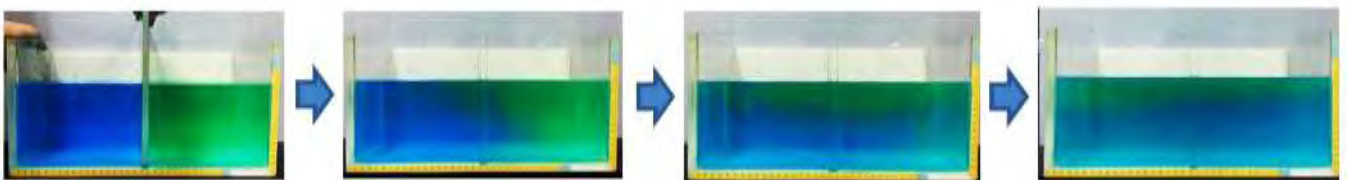
2. 圖 4-2-b：10°C(綠色)鹽度 0.8‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



3. 圖 4-2-c：10°C(綠色)鹽度 0.6‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



4. 圖 4-2-d：10°C(綠色)鹽度 0.4‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



5. 圖 4-2-e：10°C(綠色)鹽度 0.2‰的水和 0°C的冰水(0‰)流動情形



(四) 【實驗 4-2】小結

由上述實驗我們可知，當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中時，溫度 10°C 的暖流流到北極地區時，鹽度差只要縮小到 0.4‰ 以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。



## 伍、研究結果

- 一、由【實驗一】模擬海洋中不同溫度的海水交會時所形成之密度流，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。當對流停止時，可以清楚看見不同密度的水呈現出海洋中海水分層的現象，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、由【實驗二】模擬海洋中高緯度低區，因鹽度差異而形成密度大的海水沉降，鹽度不同造成的流速差異，鹽度差愈大，造成的密度差越大，洋流流速就愈快。
- 三、由【實驗三】模擬為海洋中因溫度差異，所形成的密度流，溫度差愈大，造成的密度差越大，洋流流速就愈快。
- 四、由【實驗四】我們推論，當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中時，只要使原本會沉降的北大西洋洋流和北極地區的表層海水，鹽度差縮小到0.4‰以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。

## 陸、討論

- 一、在【實驗一】中，主要是模擬深海中海水密度變化所引起之密度流，以自然對流的方式觀察密度不同造成流動的情形，為了方便觀察，所以加入四種顏料，最困難的是四種不同溫度的水互相交會對流時，顏色的調製很重要，不能太深，否則顏色容易被吃掉。
- 二、在【實驗二】中，我們滴入兩種紅色和藍色顏料，實驗過程中，我們發現鹽度35‰的藍色液體，因為密度大而往左邊量筒下沉，其流動至300ml的速度比密度低的紅色液體流到右邊量筒要快，我們推測由於下沉有受到地心引力的影響，所以速度較快一些。另外因為是下沉，所以下沉的過程中，藍色液體有時會跟紅色液體混合成藍紫色，不方便觀察，因此我們選擇右上方較不易形成混合色，方便觀察紀錄。
- 三、在【實驗二】中，所設計的連接管口直徑0.5cm太細，造成流速極為緩慢，故本實驗所需觀察時間較長，也較為辛苦，如果可以找到管口直徑大一點，讓流速變快，則可以減少觀察時間，或使量筒本身的兩孔高度差加大的話，也可以讓流速變快，減少觀察時間。
- 四、在【實驗三】中，探討不同溫度下，洋流流速的快慢，實驗不容易的地方在於要調製0℃的冰水，要花上一些時間，若當天天氣較熱，則很難調製到0℃，因此我們選在寒流來

襲最冷的天氣，來調製較為容易達到。

## 柒、結論

透過本次科展所進行的科學實驗，我們學習到，海洋中之海水密度不同而形成的循環流動，是由於海水溫度或鹽度的不同，造成海水密度差異所形成，溫度差主要影響不同緯度間的水平橫向運動，鹽度差主要影響不同海層的鉛直交替運動。海水的密度差愈大，所形成之密度流其流速愈大。海水密度決定海水在海洋中的鉛直位置，不同密度的水呈現出海洋中海水分層的現象，一團密度相近的海水形成，則會成為所謂的水團。當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中，我們推論只要鹽度差縮小到0.4‰以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。當北大西洋暖流停止北上，全球氣候將造成巨大影響，甚至引發北半球的冰河時期。本實驗所設計的自製研究裝置，可應用於教學上，使學生更易瞭解深海環流的流動。

## 捌、參考資料及其他

- 一、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。
- 二、張家豪、謝昀燁、呂紹璋、林瑜涵、李妍、余旻洋(2009)。冷熱圓舞曲。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、沈威宏、張嘉玲、張承宗(2003)。『流』『鹽』追追追－海洋密度流之探討。中華民國第五十三屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、嘉義市第32屆中小學科學展覽會作品說明書(2014)。「鹽」形畢露-密度流現象之探究。
- 五、羅立(2014)。溫鹽環流及其古海洋學研究上的意義。2018/12/11取自  
[http://scimonth.blogspot.com/2014/03/blog-post\\_8901.html](http://scimonth.blogspot.com/2014/03/blog-post_8901.html)
- 六、王瑜琦，王瑜君(2011)全球海洋深層大循環 (The Global Ocean Conveyor)。2018/12/11 取自  
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=38544>
- 七、劉雅章、陳方正(2005)。在大氣與海洋之間。二十一世紀雙月刊。87。

## 【評語】 080507

能利用水體染色作成密度流的概念設計實驗探討全球暖化對深海洋流的影響，此項研究設計建立在過去一些科展或是地科教材曾經使用過的經驗，透過團隊合作完成實驗。但如果能對實驗結果與科學原理間連結做更深入的探討或許有更意想不到的成果，例如如果可以改進實驗進行動態環流或許有一些新的貢獻。



# 壹、研究動機

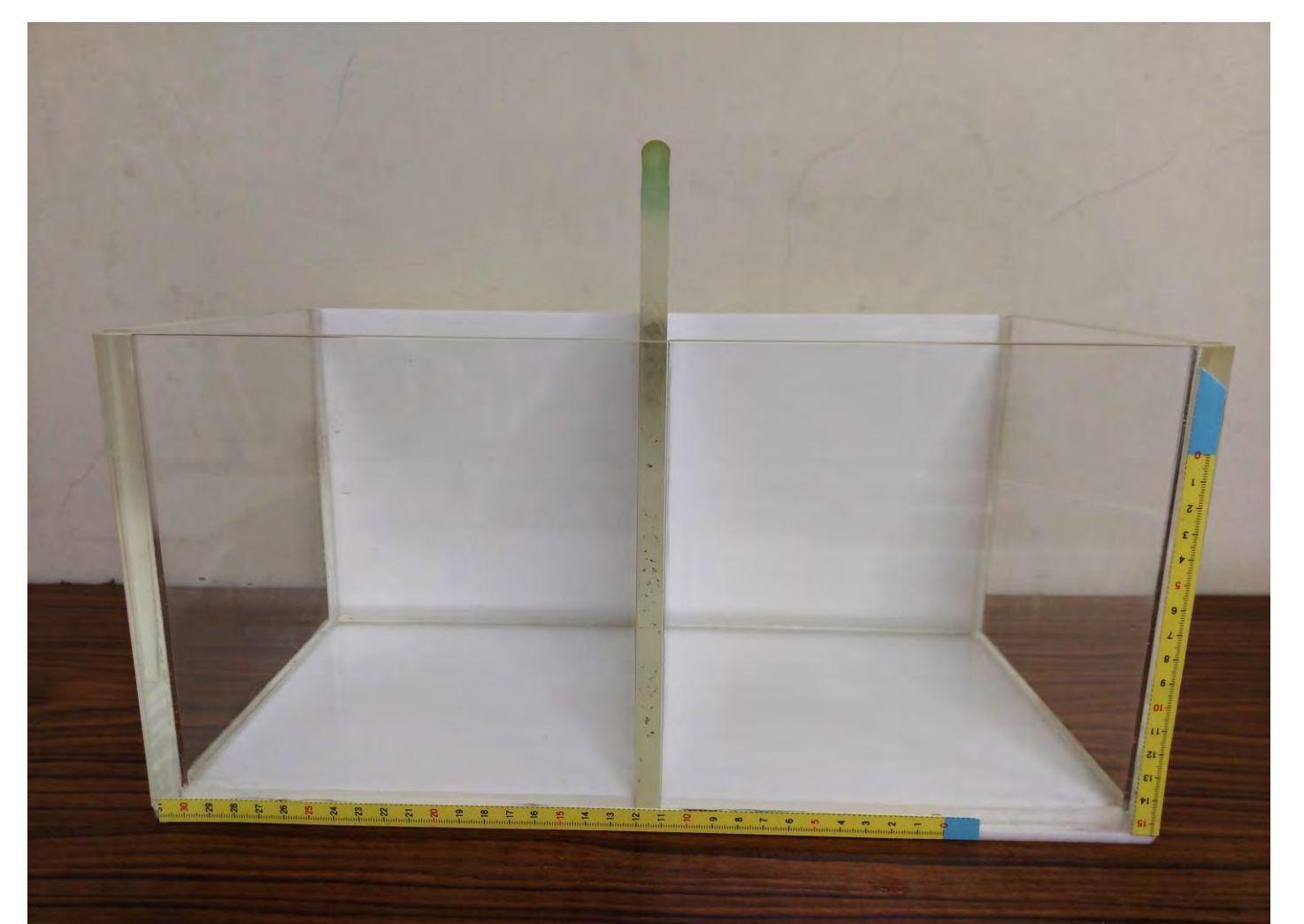
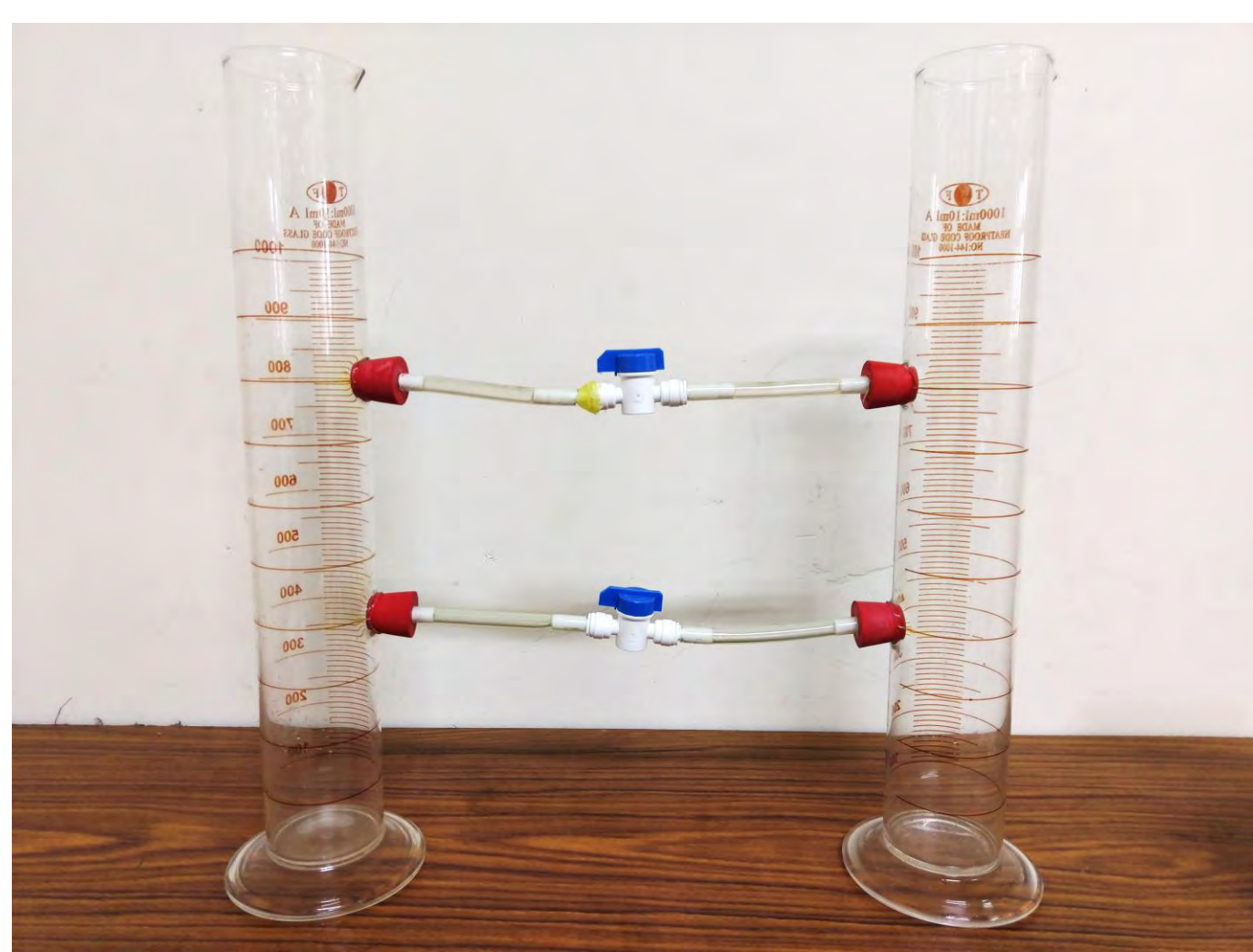
在課堂上，我們上網進行小組查資料，討論全球暖化的影響。當我們看到北極熊瘦成了皮包骨模樣的影片時，另我們怵目驚心。近年全球暖化的關係，導致北極的海冰縮減至歷來最低紀錄，迫使動物必須前往他地尋找食物。北極融冰造成的影響卻不只這些，還會導致海平面上升，沿海低海拔地區將會被海水淹沒。另外，還有新聞提到北極融冰，造成全球深海環流癱瘓，北半球地區將如同進入「冰河時期」。什麼?!從北極熊的問題到洋流的癱瘓，這一切都讓我們有很多疑問?!看不見的深海洋流也會造成這麼大的影響嗎?它是怎麼流動的呢?它有可能會停止嗎?這開啟了我們想要對深海環流更多的研究。

# 貳、研究目的

- 一、探討模擬海洋中不同溫度的水團相遇後的情形。
- 二、探討海洋中因為密度不同，而引起的洋流垂直與水平流動之情形。
- 三、探討冰山溶解後，影響溫鹽環流流動的情形。

# 參、研究設備及器材

- 1.紅、黃、藍、綠色素 2.熱熔膠槍、膠條、溫度計 3.吸水器、食鹽、製冰機 4.數位微量電子秤
- 5.泡各種鹽度和溫度的水箱 6.防水膠帶、小網子



➤ 使用數位微量電子秤調製鹽度。

➤ 訂做1000ml量筒，量筒上、下各有一孔，可以將設計好的連接管(如上圖)，將兩個量筒連接起來。

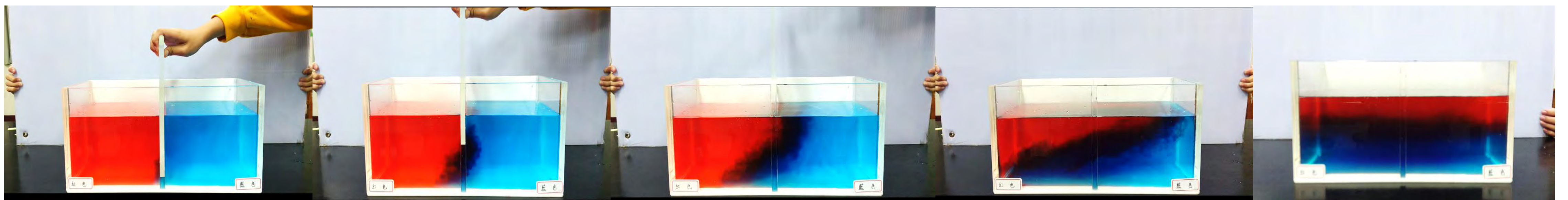
➤ 訂做中間有分隔板的水槽。

# 肆、研究過程或方法

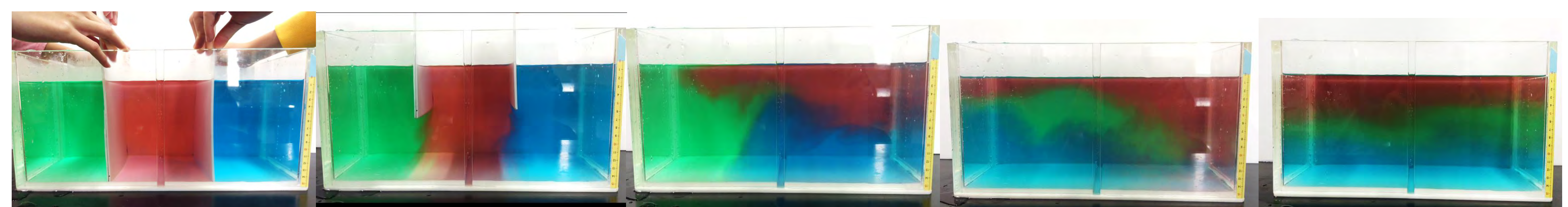
## 一、探討海洋中水團水層分層情形

### 【實驗一】：探討海洋中不同溫度水團，其水層分層情形。

(一)探討兩種不同溫度，0°C(藍)的水和30°C(紅)的水，接觸後的情形



(二)探討三種不同溫度的水，0°C(藍)、10°C(綠)和30°C(紅)，接觸後的情形



(三)探討四種不同溫度的水，0°C(藍)、10°C(綠)、20°C(黃)和30°C(紅)，接觸後的情形

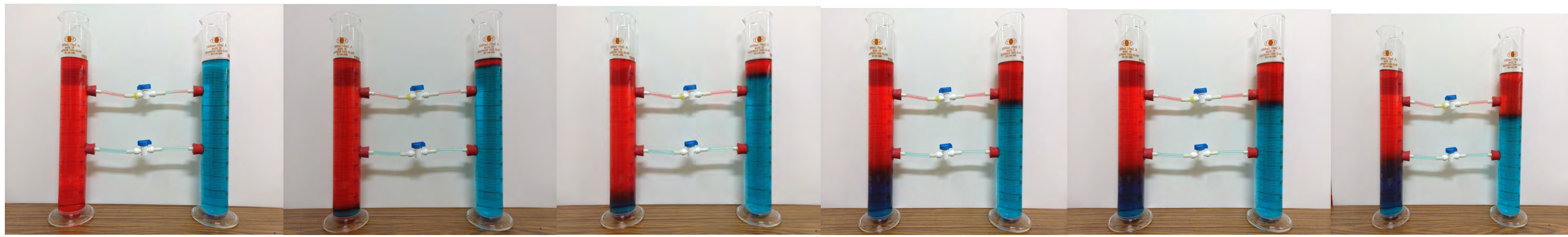


【實驗一】小結：海水密度決定海水在海洋中的鉛直位置，密度大的海水會下沉至密度小的海水下方。當靜止一段時間後，一團密度相近的海水形成，會成為所謂的水團。



## 二、探討海洋中因為密度不同，而引起的洋流垂直與水平流動之情形。

### 【實驗二】：當溫度相同時，在不同鹽度下，洋流垂直流動情形的探討。



時間(min)

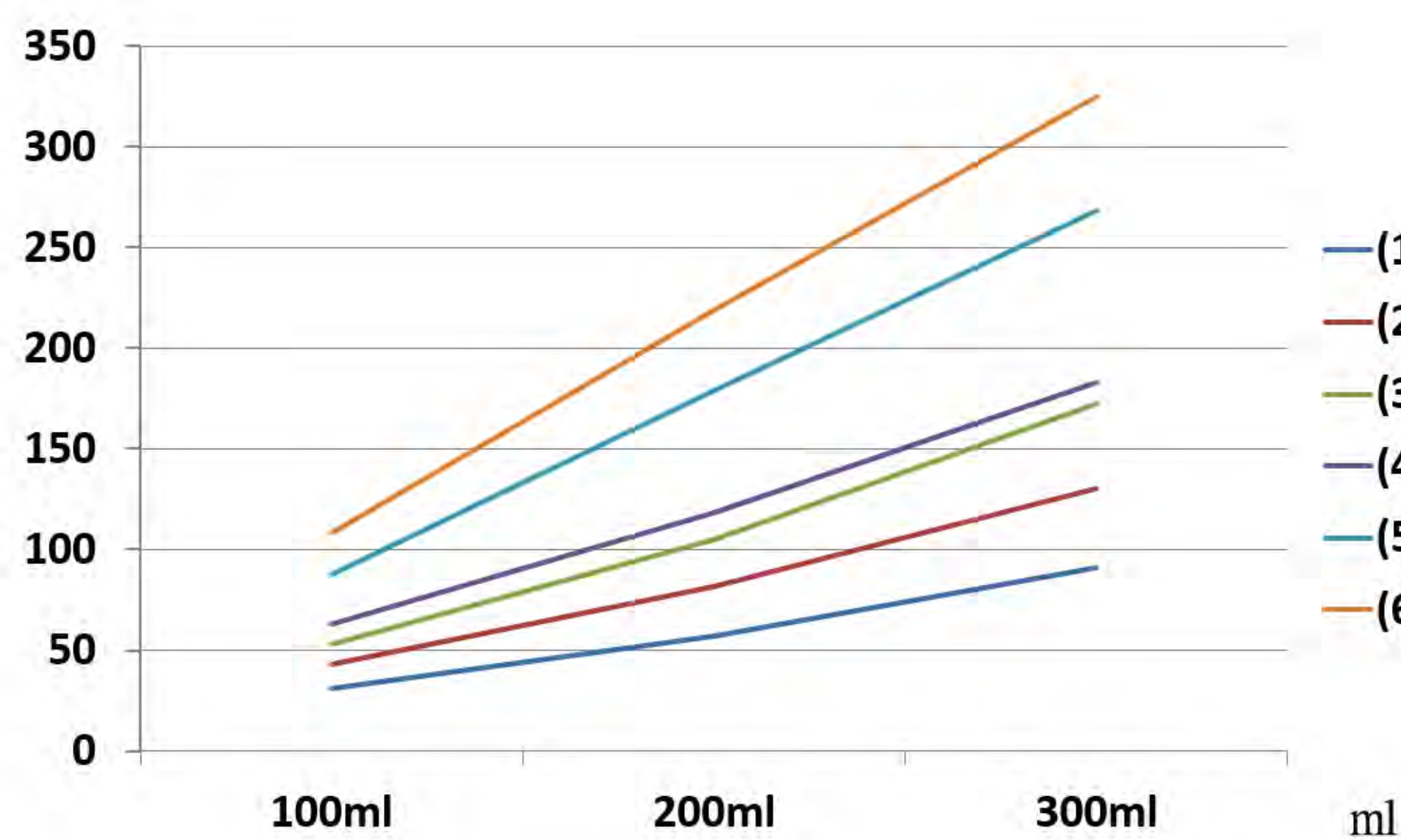


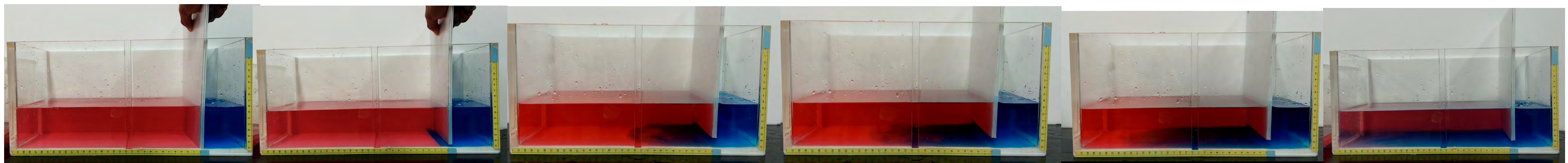
圖2-1洋流鹽度差與流動所需時間之關係圖

實驗	左邊量筒		右邊量筒		鹽度差 (%)	流動至 100ml 所需平均時間 (min)	流動至 200ml 所需平均時間 (min)	流動至 300ml 所需平均時間 (min)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)				
1	/	5	/	35	30	31	57	91
2	/	10	/	35	25	43	82	130
3	/	15	/	35	20	53	105	172
4	/	20	/	35	15	64	118	183
5	/	25	/	35	10	88	179	268
6	/	30	/	35	5	108	219	325

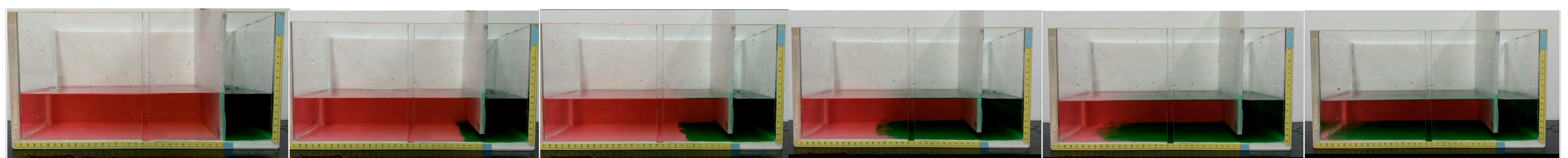
【實驗二】小結：根據實驗結果，鹽度差越小，流速慢，流動的時間較長；鹽度差越大，流速快，流動的時間較短。

### 【實驗三】：當鹽度相同時，在不同溫度下，洋流流速的快慢探討。

1. 模擬0°C (藍)的海水在30°C (紅)的水中所需時間及其流速。



2. 模擬10°C (綠)的海水在30°C (紅)的水中所需時間及其流速。



3. 模擬20°C (黃)的海水在30°C (紅)的水中所需時間及其流速。

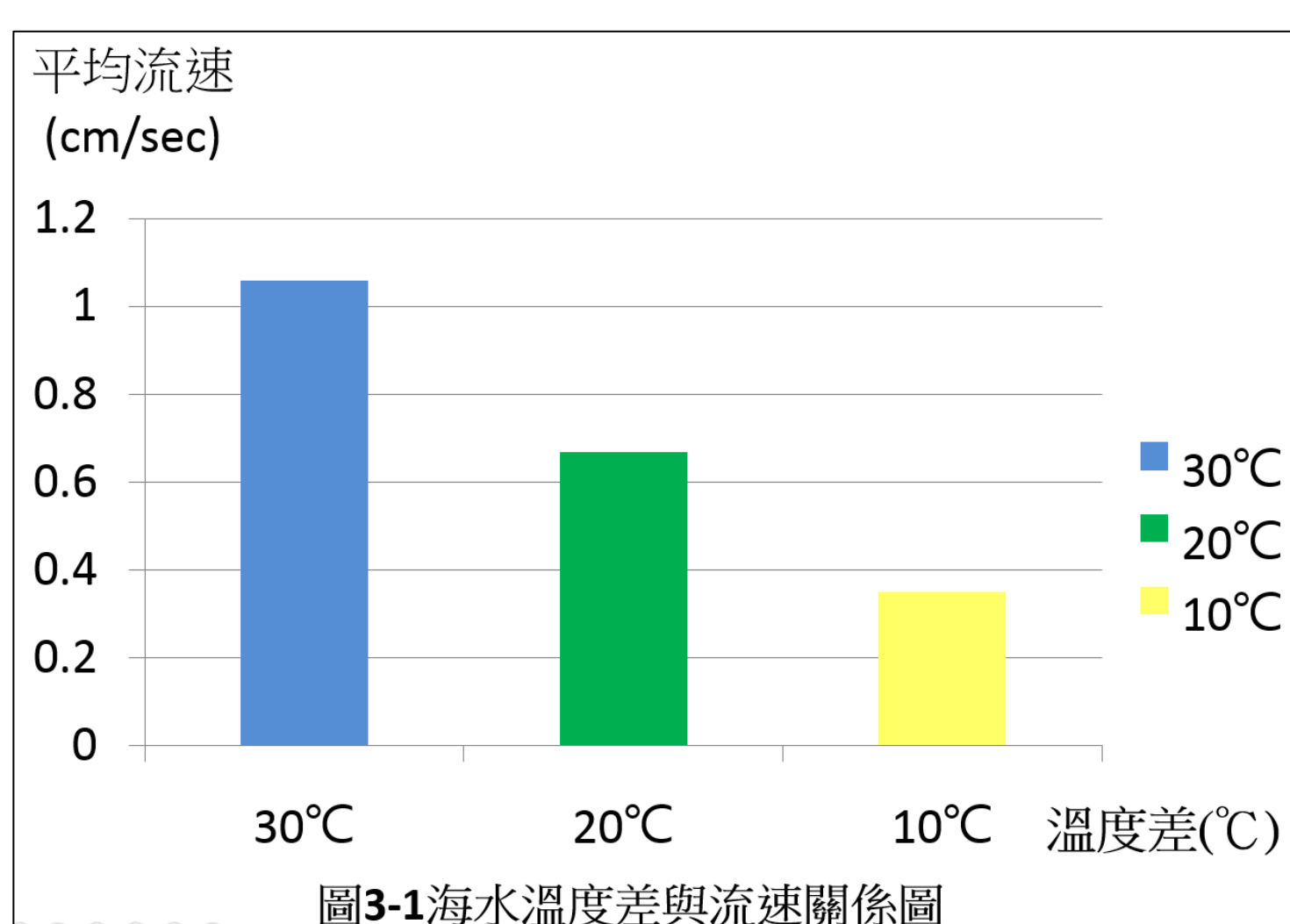
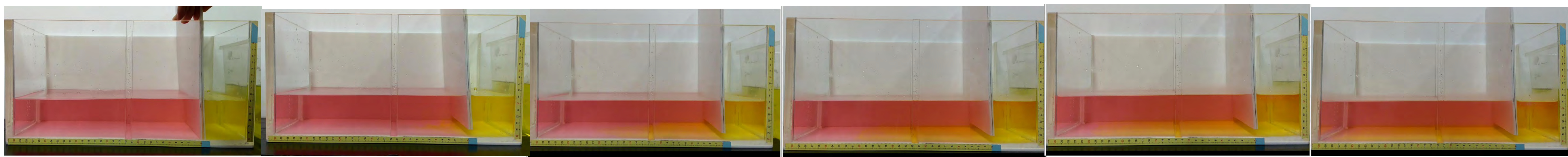


圖3-1海水溫度差與流速關係圖

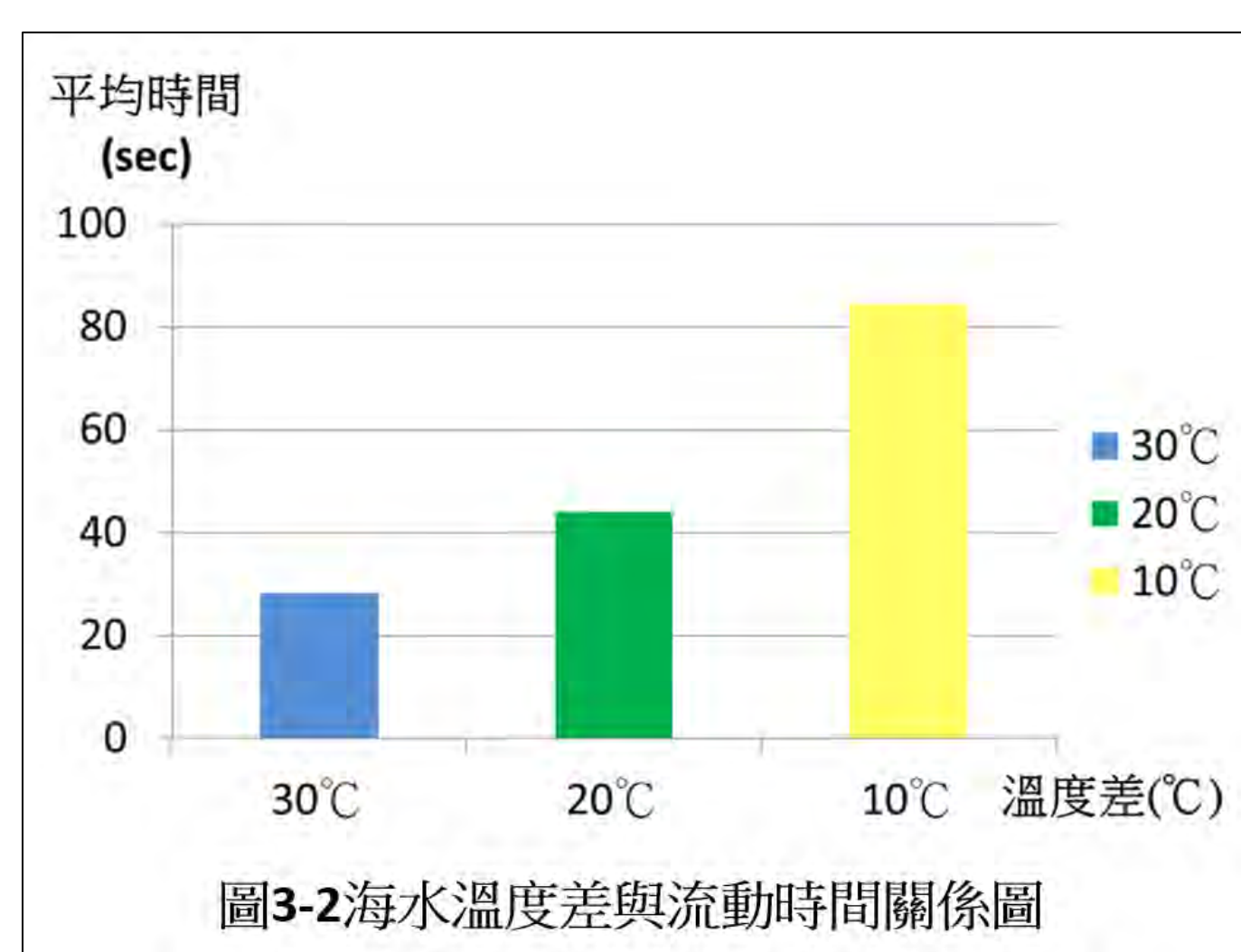


圖3-2海水溫度差與流動時間關係圖

實驗	左邊水槽		右邊水槽		溫度差 (°C)	流動至 30cm 所需平均時間 (sec)	平均流速 (cm/sec)
	溫度 (°C)	鹽度 (‰)	溫度 (°C)	鹽度 (‰)			
1	30	/	0	/	30	28.25	1.06
2	30	/	10	/	20	44	0.67
3	30	/	20	/	10	84.5	0.35

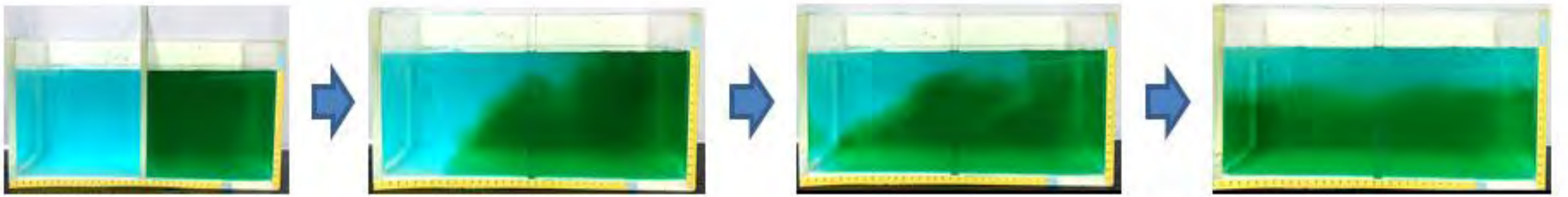
【實驗三】小結：根據我們所做的實驗結果，洋流的溫度差愈大，流速就愈快。



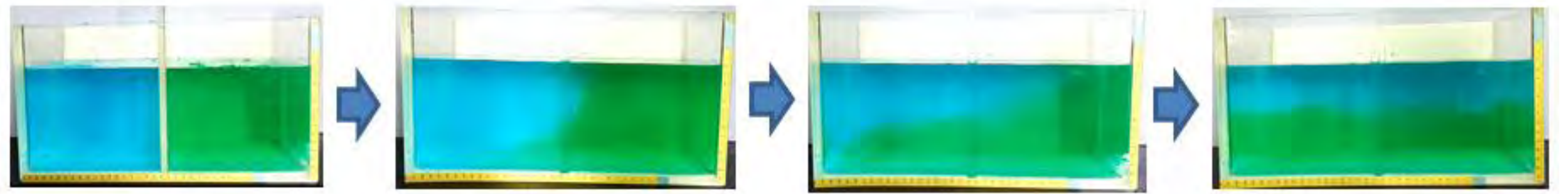
### 三、探討冰山溶解後，影響溫鹽環流流動的情形

【實驗四】：探討冰山溶解， $10^{\circ}\text{C}$ 的暖流流到北極地區的海水沉降情形。

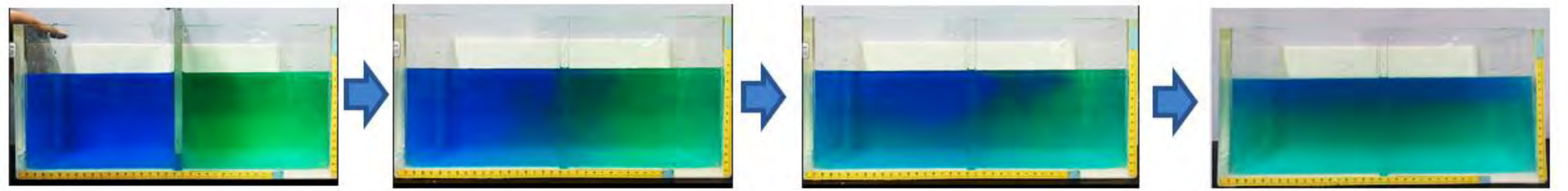
1.  $10^{\circ}\text{C}$  (綠)鹽度  $1\text{‰}$ 的水和 $0^{\circ}\text{C}$  (藍)的冰水 $0\text{‰}$ 流動情形



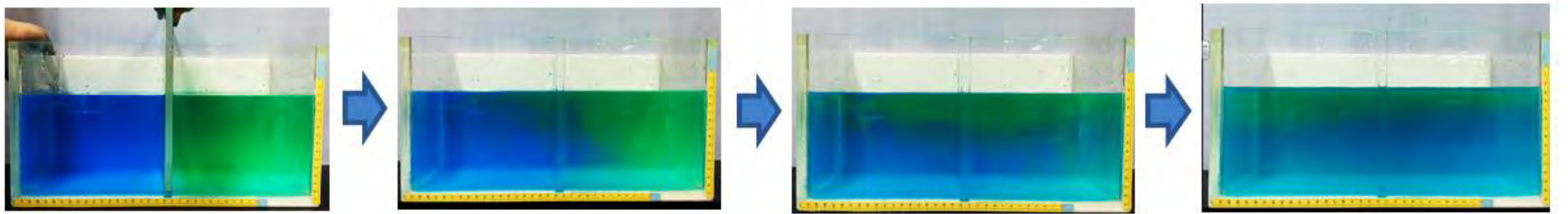
2.  $10^{\circ}\text{C}$  (綠)鹽度 $0.8\text{‰}$ 的水和 $0^{\circ}\text{C}$  (藍)的冰水 $0\text{‰}$ 流動情形



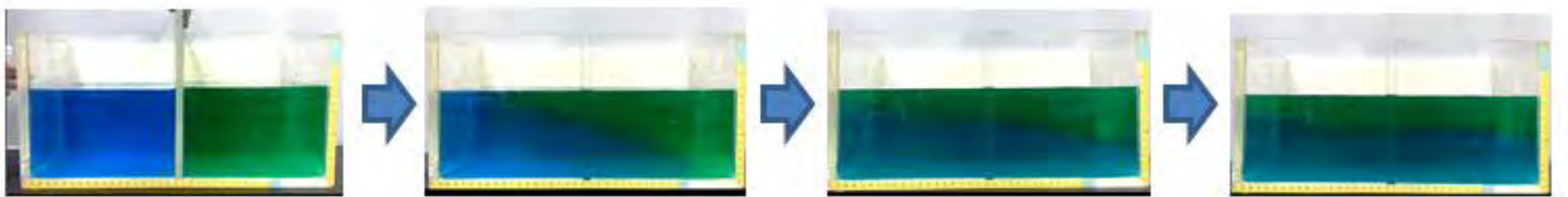
3.  $10^{\circ}\text{C}$  (綠)鹽度 $0.6\text{‰}$ 的水和 $0^{\circ}\text{C}$  (藍)的冰水 $0\text{‰}$ 流動情形



4.  $10^{\circ}\text{C}$  (綠)鹽度 $0.4\text{‰}$ 的水和 $0^{\circ}\text{C}$  (藍)的冰水 $0\text{‰}$ 流動情形



5.  $10^{\circ}\text{C}$  (綠)鹽度 $0.2\text{‰}$ 的水和 $0^{\circ}\text{C}$  (藍)的冰水 $0\text{‰}$ 流動情形



【實驗四】小結：根據實驗結果，我們推論當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中時，只要使原本會沉降的北大西洋洋流和北極地區的表層海水，鹽度差縮小到 $0.4\text{‰}$ 以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。

### 伍、研究結果

- 一、由【實驗一】可知，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。當對流停止時，可以清楚看見不同密度的水呈現出海洋中海水分層的現象，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、由【實驗二】可知，因鹽度差異而形成密度大的海水沉降，鹽度不同造成的流速差異，鹽度差愈大，造成的密度差越大，洋流流速就愈快。
- 三、由【實驗三】可知，因溫度差異，所形成的密度流，溫度差愈大，造成的密度差越大，洋流流速就愈快。
- 四、由【實驗四】我們推論，當全球暖化冰山溶解，大量的淡水注入海洋中時，只要使原本會沉降的北大西洋洋流和北極地區的表層海水，鹽度差縮小到 $0.4\text{‰}$ 以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。

### 陸、討論

- 一、在【實驗一】中，為了方便觀察，所以加入四種顏料，最困難的是四種不同溫度的水互相交會對流時，顏色的調製很重要，不能太深，否則顏色容易被吃掉。
- 二、在【實驗二】中，我們發現鹽度 $35\text{‰}$ 的藍色液體，因為密度大而往左邊量筒下沉，其流動至 $300\text{ml}$ 的速度比密度低的紅色液體流到右邊量筒要快，我們推測由於下沉有受到地心引力的影響，所以速度較快一些。
- 三、在【實驗二】中，所設計的連接管口直徑 $0.5\text{cm}$ 太細，造成流速極為緩慢，故本實驗所需觀察時間較長，也較為辛苦，若改成管口直徑大一點，或使量筒本身的兩孔高度差加大的話，會使流速變快，可以減少觀察時間。
- 四、在【實驗一、三、四】中，有個不容易的地方，在於要調製 $0^{\circ}\text{C}$ 的冰水，要花上一些時間，若當天氣較熱，則很難調製到 $0^{\circ}\text{C}$ ，因此有些實驗，我們選在寒流來襲中最冷的天氣，來調製較為容易達到。

### 柒、結論

透過本次科展所進行的科學實驗，我們瞭解到，深海環流流動的特性。現今全球暖化北極融冰帶來的大量淡水，確實稀釋了海洋鹽度而破壞了洋流的下沉。根據我們的實驗，當冰山溶解，大量的淡水注入海洋中，溫度 $10^{\circ}\text{C}$ 的暖流流到北極地區時，鹽度差只要縮小到 $0.4\text{‰}$ 以下，就有可能使北大西洋洋流的沉降減緩，甚至停止。當北大西洋暖流停止北上，全球氣候將造成巨大影響，甚至引發北半球的冰河時期。