

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030504

水“升”火熱

學校名稱：苗栗縣立照南國民中學

作者： 國二 陳思妘 國二 林天心 國二 詹前宣	指導老師： 陳家瑩
---	------------------

關鍵詞：表面洋流、流速、海流方向

水“升”火熱

摘要

根據研究結果，溫室效應使全球暖化，海洋溫度溫差變大，對流速度加快；暖流由赤道向北流，鹽度增加，流速會變慢；冷流由北極向南流，因為鹽度增加，海水密度增大，冷流無法下沉，造成流速變慢。溫度越低，鹽度會增加，密度就會變大，所以洋流會往下沉，越往下鹽度越高，當冷水跟周圍達平衡時，就不再繼續往下沉，反而會沿水平方向移動。

電影「明天過後」所描述的氣候現象是指北極冰棚融化後，由於北大西洋海水鹽度降低造成全球「大溫鹽循環」(thermohaline circulation)停止，海洋從低緯到高緯的熱傳輸能力降低，使地球進入冰期狀態，美洲北部全面冰封的情景。這樣的電影場景不可能在短時間內發生。

壹、研究動機

氣候暖化，海平面上升，陸地漸漸被淹沒，聽起來像是電影裡的情節，但現在卻很有可能在真實生活中上演，南太平洋島國，也是台灣的邦交國吐瓦魯，非常有可能，成為第一個被海水淹沒的小島國家(新聞來源：[TVBS2009-02-02](http://www.tvbs.com.tw/news/2009-02-02))。溫室效應會讓兩極和高山的冰層加速融化，造成平均海平面上升；海平面的上升除了會淹沒陸地之外，還有其他的影響嗎？會像「明天過後」的電影情節一樣，地球會急速冷凍，下一次的冰河期提早到來？

我們知道海洋具有調節氣候的功能，冰山的融化使海水濃度改變、海洋深度加深，這些會不會讓洋流產生變化，因而使氣候改變？藉由這次科展；，我們想以海平面上升，表面洋流流動速度在不同海域有何不同為研究主題，加以討論之。

貳、研究目的

一、海平面上升，洋流的流速快慢改變情形。

- 1、不同溫度下，流速的快慢探討。→推論：不同緯度，表面洋流流速探討。
- 2、不同密度下，流速的快慢探討。→推論：表層水與中層水流速差異。

二、海平面上升，洋流(ocean current)的範圍改變之研究。

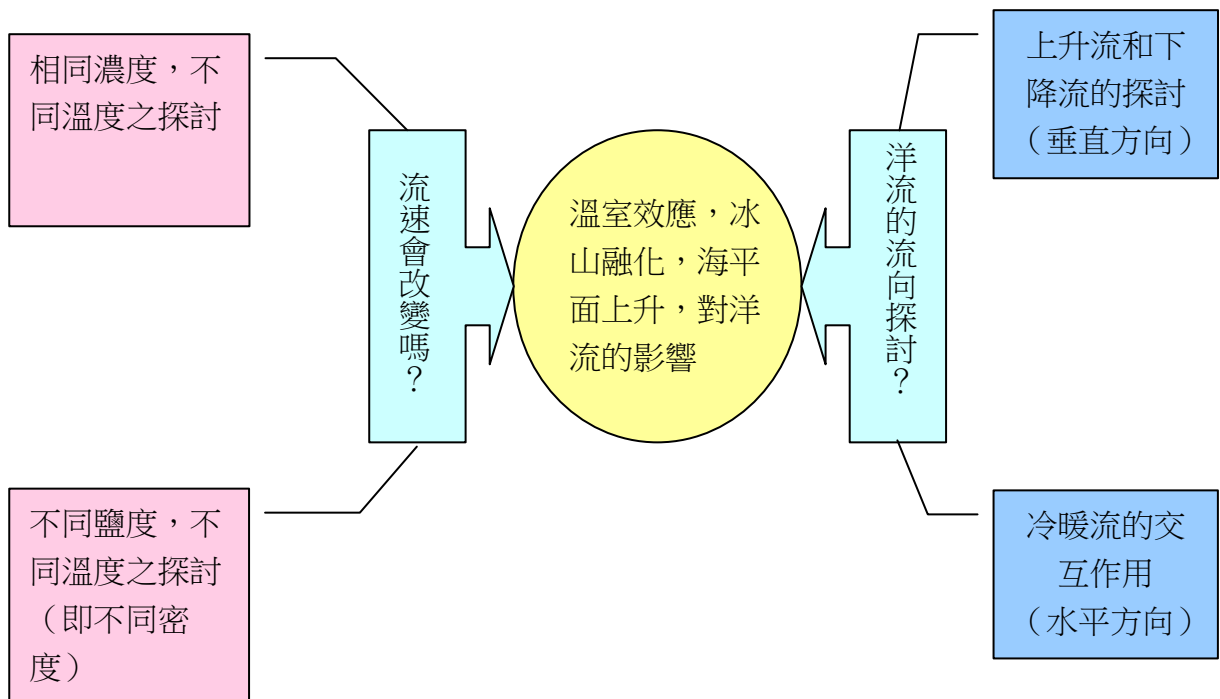
- 1、洋流的垂直方向，即上升流和下降流流動探討。
- 2、冷暖流交互作用(水平方向)的探討。

參、研究設備及器材

名稱	規格	數量	名稱	規格	數量
水族箱 A	45 cm × 35 cm × 35 cm	1	水族箱 B	40 cm × 20 cm × 40 cm	1
水族箱 C	80 cm × 20 cm × 40 cm	1	直尺	30 cm	1
皮尺	150 cm	2	電子秤		1
碼表		1	密封袋		數個
筷筒		2	廣告原料	紅色、藍色	數瓶
食鹽		數包	冰塊		數包
電子溫度計		2	鐵釘		1 支

肆、研究方法與實驗設計

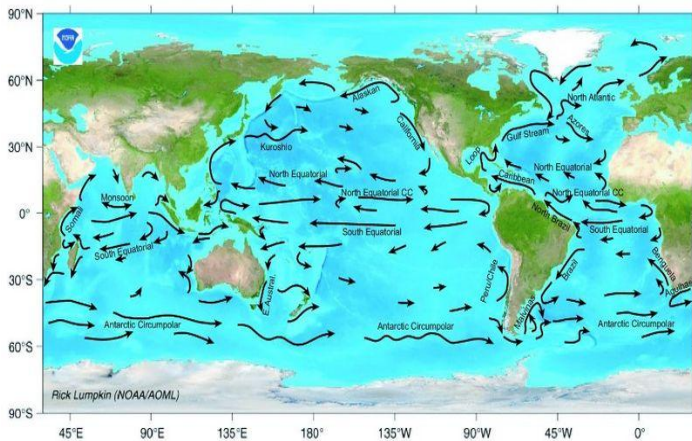
一、研究架構



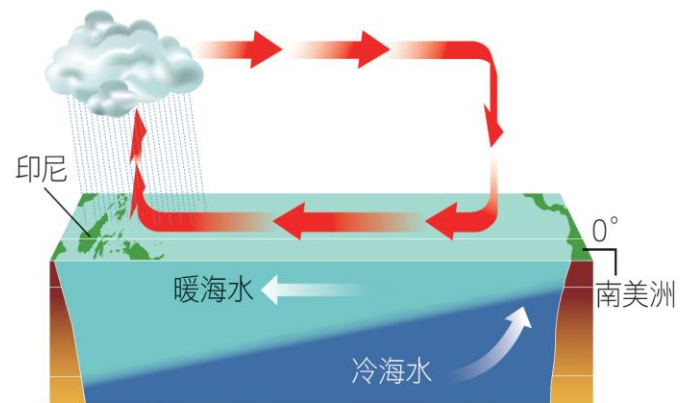
二、蒐集資料：

(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）。（摘錄自康軒版 3 下自然與生活科技第四章 p.154-157）



(圖一 全球洋流分佈圖)



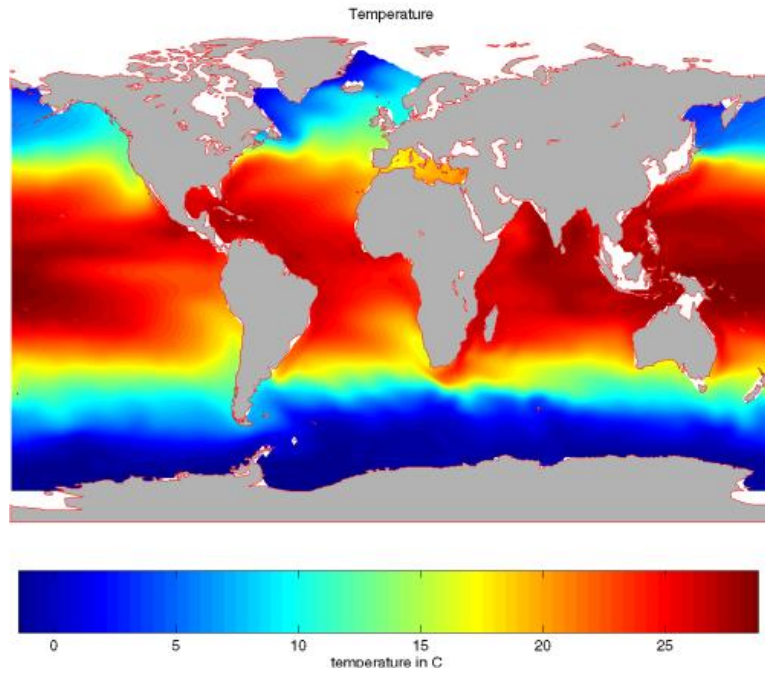
(圖二 洋流循環圖)

(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。

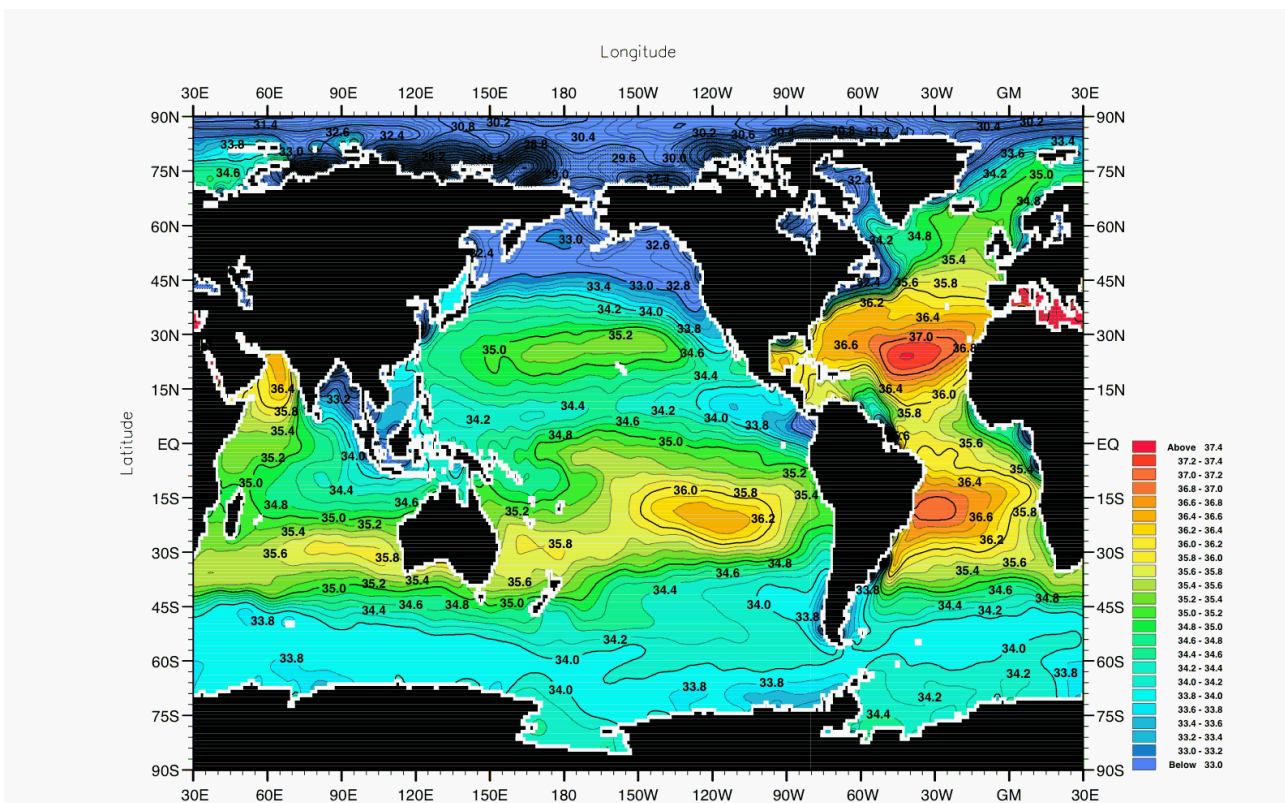
(三) 海水密度：

海水的密度會隨溫度、鹽度、壓力而變化。海水鹽度的分部不均，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）。（摘錄自台灣大百科全書）



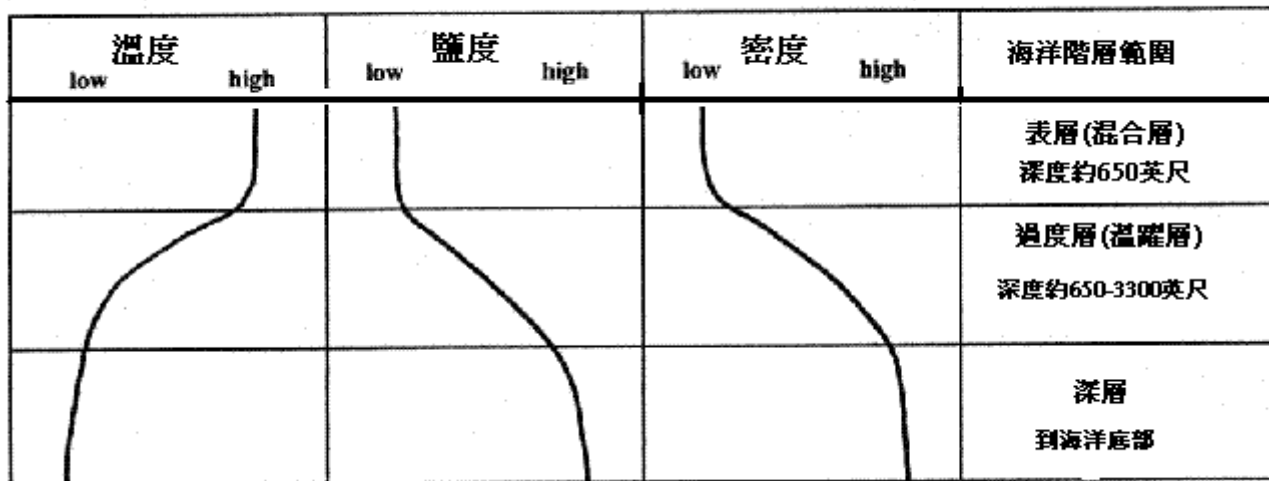
圖三 全球海洋表面溫度圖

(http://www.awi.de/en/research/research_divisions/climate_science/climate_dynamics/community_ocean_model_com/finite_element_sea_ice_ocean_model_fesom)



圖四 全球海水年平均鹽度比例分配圖 (<http://serc.carleton.edu/eslabs/corals/4c.html>)

海水的密度階層



圖五 海水的密度階層變化圖

(<http://www.cns.m.csulb.edu/departments/geology/people/bperry/geology303/geol303chapter13.html>)

由上述的資料，我們發現洋流的流速和風吹、海水密度、溫度、摩擦力、科氏力以及海底地形有關，在這些因素中我們挑選「海水密度」及「溫度」作為研究因子，期望能在實驗中發現海平面升高對洋流或海洋流速之影響力。

三、實驗設計

(一) 流速的測量：

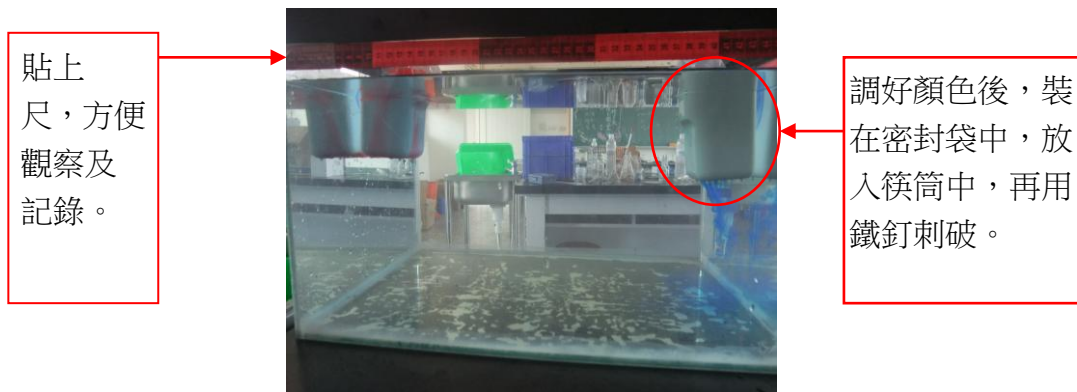
1、純水中，不同溫度下水的流速。

步驟：(1) 先用皮尺貼在水族箱 A 四周，以方便測量。

(2) 加水至高度 20 公分。

(3) 測量室溫下的水溫 ($T_{室}$)。

(4) 分別取 50°C、45°C、40°C、35°C、30°C、25°C、20°C、15°C、10°C、5°C 及 0°C 的水 (T)，調好顏色後，裝在密封袋中，做好記號，放入筷筒中 (筷筒用吸盤吸附在水族箱適當的高度內)，再用鐵釘刺破，每 5 cm 記錄時間。每組水溫測量 2 次，再計算其平均速度。(如圖六)



(圖六 測量流速裝置圖)

2、千分之一濃度的鹽水中，測量不同溫度下的水流速度。

步驟：(1) 先用皮尺貼在水族箱 B 四周。

(2) 加水至高度 20 公分處。

(3) 測量室溫下的水溫 ($T_{室}$)。

(4) 分別取 50°C、45°C、40°C、35°C、30°C、25°C、20°C、15°C、10°C、5°C 及 0°C 的水 (T)，調好顏色後，裝在密封袋中，做好記號，再用鐵釘刺破，每 5 cm 紀錄時間。每組水溫測量 2 次，再計算其平均速度。

3、千分之十濃度的鹽水中，測量不同溫度下的水流速度。

步驟：(1) 先用皮尺貼在水族箱 B 四周。

(2) 加水至高度 20 公分處。

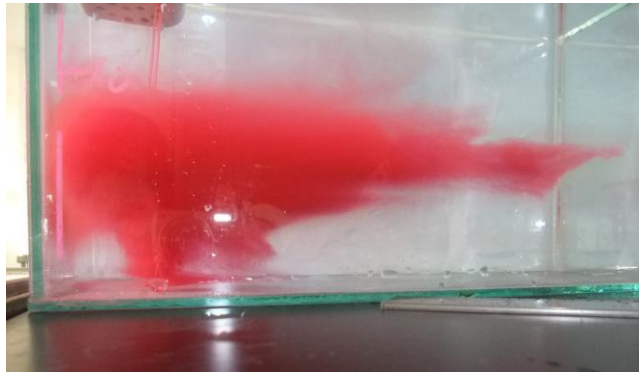
(3) 測量室溫下的水溫 ($T_{室}$)。

(4) 分別取 50°C、45°C、40°C、35°C、30°C、25°C、20°C、15°C、10°C、5°C 及 0°C 的水 (T)，調好顏色後，裝在密封袋中，做好記號，再用鐵釘刺破，每 5 cm 紀錄時間。每組水溫測量 2 次，再計算其平均速度。

(二) 上升流和下降流 (垂直方向)：

步驟：1、先用千分之一的濃度，水溫先用 15°C，觀察其沉降情形。若下沉至水族箱底部，則先調整溫度，至室溫相同時仍下沉，則再調整鹽度。直到如下圖七，剛好會在水中間形成，則記錄下沉的深度。

2、再改變水的高度，並以一定比例的鹽，觀察其下降情形，及記錄深度。



(圖七 冷水在鹽水中下沉情形)

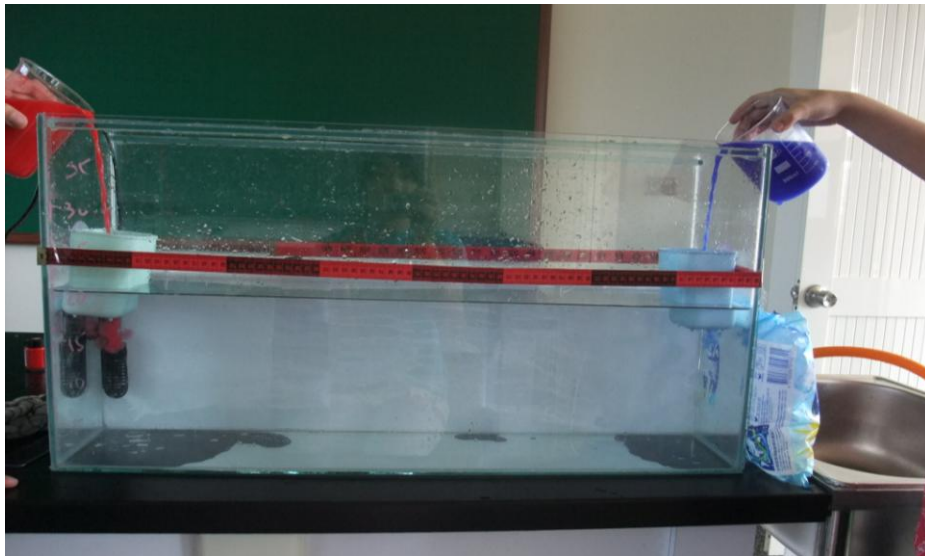
(三) 冷暖洋流的對流情形：

步驟：1、用水族箱 C，加入 20 cm 高室溫下的水。

2、準備 30°C 的熱水及 0°C 的冰水，同時分別倒入筭筒中，攝影並記錄相遇時的時間及位置。(如下圖八)

3、改變水族箱內的水溫，再重複上述步驟。

4、改變濃度，再重複上述步驟。



(圖八 模擬洋流的對流情形)

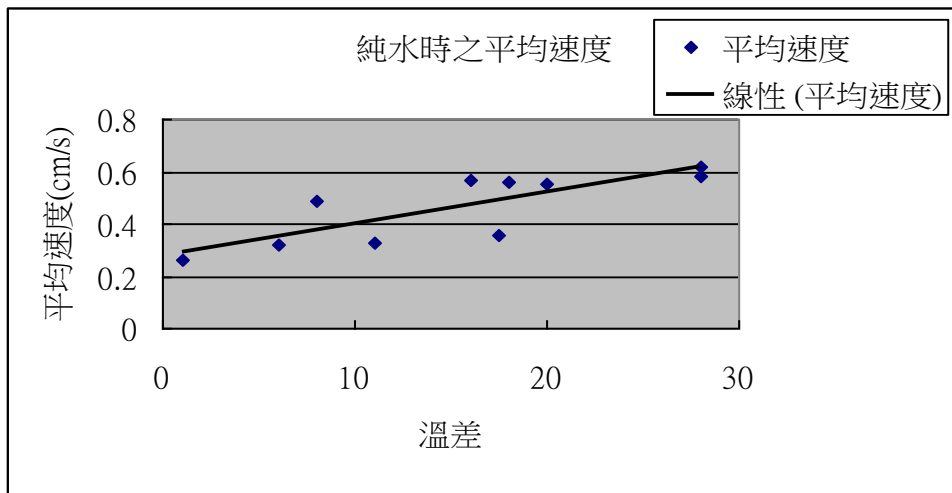
伍、研究結果

一、測量流速：

(一)、純水時之流速

由附件一整理後發現，溫差越大，流速越快（如圖九）。所謂溫差是指熱水或冷水的溫度－水族箱內原本的水溫取絕對值，即 $|\text{冷水或熱水溫度} - \text{水族箱內的水溫}|$ 。若我們把冷水視作冷流，熱水是暖流，則與海水的溫度相差越大，則流速越快。

由圖三，全球海洋表面溫度梯圖得知，赤道附近的海水溫度最高，兩極的溫度最低，全球海洋的海水平均溫度為 3.5°C 左右來看，赤道附近的暖流跟海水平均溫度溫差較大，所以我們推測暖流的流速較冷流來得快。

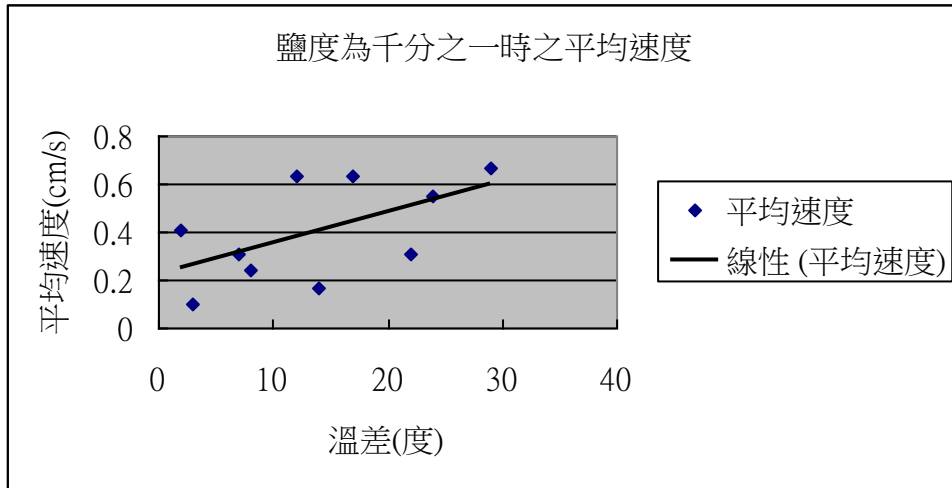


圖九 純水時之平均流速

(二)、鹽度為千分之一時之流速：(水族箱大小：40×20×20，鹽：16克)

如附件二，當鹽度為千分之一時，溫差越大，流速越快（如圖十）。我們跟純水比較，發現它的平均速度較純水來的慢一些，兩條線幾乎成平行（如圖十二）。

假設洋流從赤道出發往北流，赤道附近的鹽度大約34.2，到了北回歸線附近鹽度增加到35（如圖四），我們可以猜測此時的流速會變慢一點，若是根據熱力學原理，熱的傳遞會伴隨能量的耗損，能量減少，速度就會變慢，還滿符合我們的推論。



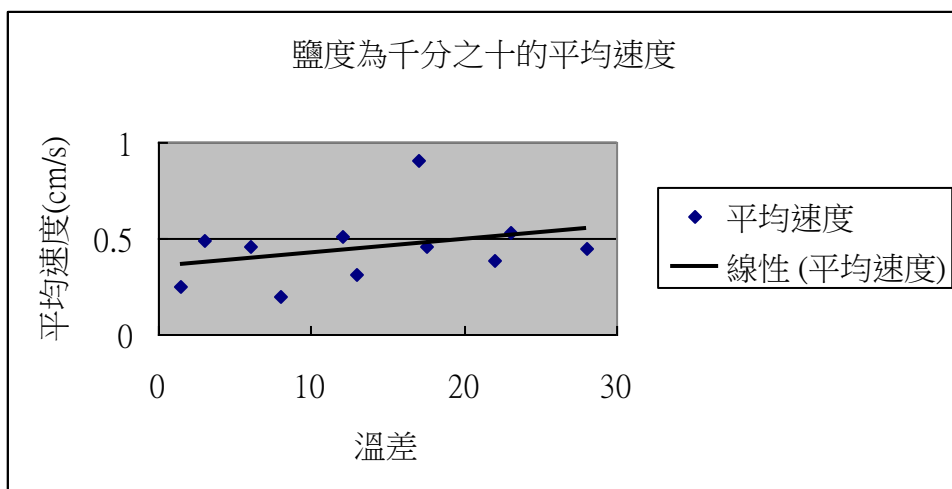
圖十 鹽度為千分之一時的平均流速

(三)、鹽度為百分之一時之流速：(水族箱：40×20×20；鹽：160克)

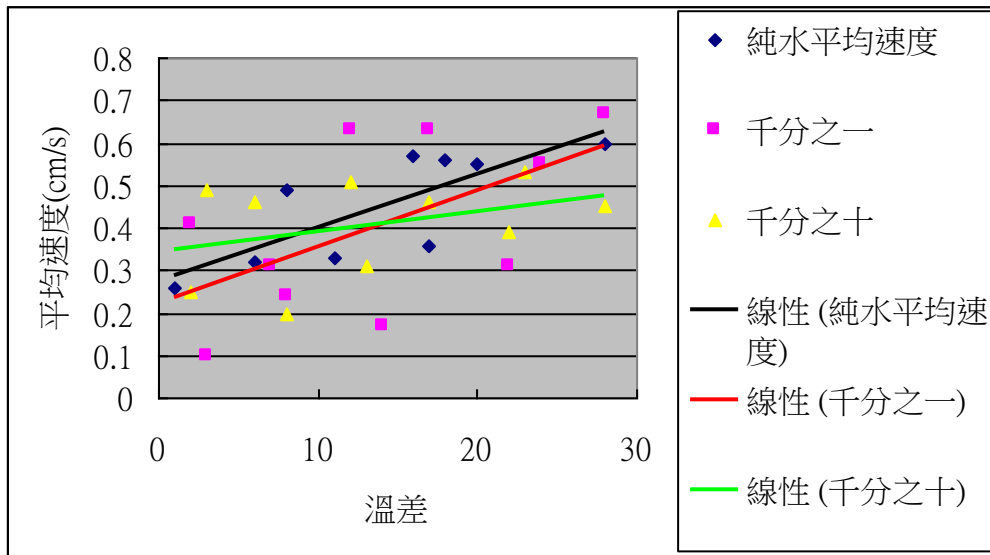
如附件三，我們再把鹽度提高到千分之十（如圖十一），溫差越大，速度仍然較快。但平均速度減緩，即斜率較平緩，表示速度變化較小。再從附件三中去分析發現，鹽度變大，冷水幾乎都是漂浮在水面上前進的速度較慢，有可能是水（海水）密度大，原本應該下沉的卻無法下沉，因此速度變慢了。

由圖四全球海水鹽度圖和附件三推論：北極地區的鹽度較低，當冷流往南流動時，鹽度漸漸增加，海水密度變大，冷流的流速也會跟著減緩，當到北緯40度左右，受到西風帶及流速減慢的影響，冷暖流就轉向了。

再由表層洋流為例，若遇上冷流，溫度下降，從圖五我們知道溫度越低，鹽度會增加，密度就會變大，所以洋流會往下沉，越往下鹽度越高，我的冷水以跟周圍達平衡時，就不再繼續往下沉，反而會沿水平方向移動，這也就是我們所觀察到上圖七的結果。



圖十一 鹽度為千分之十的平均流速



圖十二 不同鹽度下之平均速度趨勢圖

- 小結：1、由上圖九、圖十和圖十一發現：溫差越大，流速越快。
- 2、由圖十二可知，鹽度越大，流速變化越小，即流速越慢。
- 3、由以上推論，暖流的流速較冷流快（因為暖流和海水的平均溫度溫差較大）；
暖流由赤道向北流，鹽度增加，流速會變慢；冷流由北極向南流，因為鹽度增加，海水密度增大，冷流無法下沉，造成流速變慢。
- 4、溫度越低，鹽度會增加，密度就會變大，所以洋流會往下沉，越往下鹽度越高，
當冷水跟周圍達平衡時，就不再繼續往下沉，反而會沿水平方向移動。

二、洋流沉降情形：

根據文獻探討，我們知道海洋是分層的，且洋流的流動除了水平方向也包含垂直方向的流動，於是我們想藉由水族箱的洋流沉降，推論表面洋流的深度，實驗的結果如下表：

$$\begin{aligned}
 \text{結論：1.由上表推論濃度：重量百分濃度\%} &= \frac{\text{溶質重量}}{\text{溶質重量}+\text{溶液重量}} \times 100\% \\
 &= \frac{137}{137+80 \times 20 \times 20} \times 100\% \\
 &\doteq \frac{3}{700} \doteq \frac{4.3}{1000}
 \end{aligned}$$

2.根據圖五，在650英尺（約 200公尺）內，溫度與鹽度是維持不變。推測在濃度不變下，實際的海流深度約為150公尺。

$$\frac{\text{下沉深度}}{\text{水缸深度}} = \frac{\text{實際海流深度}}{650\text{英尺}} \rightarrow \frac{13}{20} = \frac{X}{650} \rightarrow X=422.5\text{英尺（約150公尺）}$$

3.海平面上升，海水鹽度改變，若鹽度變為千分之四點三時，春季（春季台灣海域海水溫度約22℃）洋流深度大約為150公尺。

表一 洋流沉降情形

次數	水缸內			冰水(°C)	沉降高度(距離水面高度)	成功：√ 失敗：×	備註
	鹽(g)	水溫(°C)	加水高度(cm)				
1	80	24	20	17		×	↑
2	80	23	20	19		×	↑
3	80	23	20	16		×	↑
4	80	23	20	17		×	↑
5	75	24	20	17		×	↑
6	75	24	20	16		×	↑
7	70	24	20	16		×	↑
8	70	22	20	16		×	↓
9	73	22	20	16	12	√	
10	72	21	20	16		×	↑
11	140	22	35	16		×	↑
12	100	22	35	16		×	↓
13	120	22	35	16		×	↓
14	137	22	20	16	14	√	
15	125	22	20	16		×	↓
16	130	22	20	16	15	√	
17	137	22	20	18	14	√	
18	240	22	35	18	12	√	
19	205.9	22	30	18	12	√	
20	205.9	22	30	18		×	↓
21	171.4	22	25	18		×	↑
	平均高度				13.17		

三、模擬洋流的對流情形

- (一) 以純水比較。第一次時，熱水溫差8度，冷水溫差22度，從實驗一可知溫差越大速度越快，所以都是冷水先到達對岸。第二次時，冷水、熱水溫差都是15°C，兩者會合地點大約是水族箱的一半，冷水只比熱水快一點到達對岸，可能是冰水還沒跟魚缸的水達平衡所致吧。
- (二) 以鹽水濃度不同比較。冷熱溫差相同，濃度較低，密度小，冷水下沉的快，所以速度比熱水來的快一些。當鹽水濃度提高，密度變大，冷水要下沉時受到阻礙，熱水反而因為溫度高，密度小，上升速度變快，所以移動的速度快。
- (三) 由實驗一可知，冷暖流遇到鹽度高的速度會變慢，若冷暖流沒有源源不絕供應能量，它們可能就會停滯不前，則會失去調節氣候的功能。本實驗發現，若沒有繼續提供熱源或是冷源，到最後幾乎都不太移動，甚至沒有冷暖交替現象產生。

表二 模擬洋流實驗記錄表

	純水				濃度七百分之三 (加鹽 137g)		濃度千分之一 (加鹽 32g)	
	第一次		第二次					
魚缸水溫	22	22	15	15	15	15	15	15
冰水溫度 (藍色)	0	0	0	0	0	0	0	0
熱水溫度 (紅色)	30	30	30	30	30	30	30	30
會合時間	52 秒	60 秒	60 秒	54 秒	59 秒	69 秒	54 秒	50 秒
先到達對岸 時間	58 秒	67 秒	89 秒	59 秒	98 秒	98 秒	120 秒	103 秒
誰先到達	藍	藍	藍	藍	紅	紅	一樣	藍
註				水面搖晃				

陸、討論

一、全球暖化，海平面上升，洋流會有何改變？

溫室效應加劇，導致冰山融化，海平面上升，首先海洋的溫度會逐漸增加，根據我們所做的實驗結果，溫差越大流速會越快。若赤道附近的溫度上升，北極的溫度因冰山的融化仍維持在 0°C 左右，南北溫差加大，所以洋流流速應該會變快。

其次是海水的鹽度會因為冰山的融化而降低，根據實驗結果：鹽度低，流速會加快，

但全球鹽度分部不均，可能在靠近南北極的地區鹽度是降低，但其他地方的鹽度未必會降低，因此我們可預見的是冷流一開始流速增加，遇到鹽度高的地區，流速開始降低，當暖流碰到冷流會有部分往下沉，在熱源供應充足的情形下，溫鹽環流的流速就有可能增加，全球的氣候可能就有所變化了吧。

二、電影「明天過後」的情節有可能發生嗎？

電影「明天過後」所描述的氣候現象是指北極冰棚融化後，由於北大西洋海水鹽度降低造成全球「大溫鹽循環」(thermohaline circulation) 停止，海洋從低緯到高緯的熱傳輸能力降低，使地球進入冰期狀態，美洲北部全面冰封的情景。

這樣的電影場景不可能在短短的時間內發生。氣候是指長期的氣象觀察變化資料，根據我們的研究，冰山融化，海水的鹽度會降低，這是無庸置疑的，但冷暖流流速會增加，縮短相遇時間，暖流遇冷會下沉，冷流遇熱會上升，可能會變成兩個對流系統，就像洋流碰到浮冰，結果暖流會立即下沉會阻斷原本的對流情形，若將來北極的浮冰往南移動時，暖流無法到達，北方會越來越冷，有可能地球就因此進入冰河期了。



圖十三 遇到浮冰會急速下沉

三、實驗的誤差討論

本次實驗遇到最大的困難就是測量上。首先對於時間的測量，是從刺破密封袋開始還是從筴筒流出來開始，試了好幾次，最後決定從筴筒流出時開始。再來就是水溫的調配，明明剛剛就已經調到需要的溫度，一會的時間它就改變了，有時為了讓水面靜止，多等了一下，又要新調配，這也是讓我們很困擾的地方。

本次實驗，讓我們遇到許多挫折，常常前一天試出來的結果，第二天用這個比例就不成了，實在不知道為什麼，我們推測，除了書上寫的因素之外，可能還要考慮當天氣壓，我們懷疑氣壓也會影響洋流的下沉情形，這可以當成以後研究的目標。

柒、結論

- 一、溫差越大，流速越快。
- 二、鹽度越大，流速變化越小，即流速越慢。
- 三、暖流的流速較冷流快（因為暖流和海水的平均溫度溫差較大）；暖流由赤道向北流，鹽度增加，流速會變慢；冷流由北極向南流，因為鹽度增加，海水密度增大，冷流無法下沉，造成流速變慢。
- 四、溫度越低，鹽度會增加，密度就會變大，所以洋流會往下沉，越往下鹽度越高，當冷水已跟周圍達平衡時，就不再繼續往下沉，反而會沿水平方向移動。
- 五、海平面上升，海水鹽度改變，若鹽度變為千分之四點三時，春季（春季台灣海域海水溫度約 22°C）洋流深度大約為 150 公尺。
- 六、以鹽水濃度不同比較。冷熱溫差相同，濃度較低，密度小，冷水下沉的快，所以速度比熱水來的快一些。當鹽水濃度提高，密度變大，冷水要下沉時受到阻礙，熱水反而因為溫度高，密度小，上升速度變快，所以移動的速度快。

捌、參考資料

- 1、*Mammoth iceberg could alter ocean circulation: study* 巨大冰山可能改變洋流
<http://www.physorg.com/news186339017.html>
- 2、*Oceanweather Inc: Current Marine Data* <http://www.oceanweather.com/data/index.html>
- 3、自然與生活科技（3 下）第四章（康軒版）
- 4、地球科學概論 http://202.116.83.77/hope/sites/geoscience/content/lilun/201003/403_4.html
- 5、*冷熱圓舞曲*，第四十九屆科展作品，國小組地球科學科第二名
- 6、*洋流密度之探討*，第四十八屆科展作品，國中組生物及地球科學第二名
- 7、科學人雜誌網站 <http://sa.ylib.com/news/newsshow.asp?FDocNo=482&CL=32>
- 8、*台灣大百科全書* <http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=3357>

附件一 純水時之平均速率記錄統計表

水溫 (T _室)	冷熱 水溫 (T)	距離 時間 (秒)	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	平均 速率
22°C	50°C		6	17	25	34	43	54	65	80	90	0.62
22°C	50°C		17	22	27	32	37	43	50	56	62	
		平均	11.5	19.5	26	33	40	48.5	57.5	68	76	
22°C	40°C		5	13	21	29	40	45	52	59	71	0.56
22°C	40°C		13	20	28	35	40	46	52	65	89	
		平均	9	16.5	24.5	32	40	45.5	52	62	80	
22°C	30°C		8	23	33	42	48	56	64	74	92	0.49
22°C	30°C		11	27	34	42	49	58	66	74	91	
		平均	9.5	25	33.5	42	48.5	57	65	74	91.5	
22°C	50°C		22	30	42	52	57	65	75	91	111	0.58
22°C	50°C		14	22	26	29	32	36	40	46	62	
		平均	18	26	34	40.5	44.5	50.5	57.5	68.5	86.5	
21°C	20°C		20	32	55	72	92	113	132	157	194	0.26
21°C	20°C		10	20	29	39	52	63	77	111	138	
		平均	15	26	42	55.5	72	88	104.5	134	166	
21°C	15°C		14	22	30	38	47	55	65	76	93	0.32
21°C	15°C		17	29	43	60	88	101	130	161	191	
		平均	15.5	25.5	36.5	49	67.5	78	97.5	118.5	142	
21°C	10°C		12	21	33	48	65	83	102	118	138	0.33
21°C	10°C		24	29	37	49	70	85	100	115	139	
		平均	18	25	35	48.5	67.5	84	101	116.5	138.5	
21°C	5°C		7	12	20	29	36	44	53	63	74	0.57
21°C	5°C		6	11	18	23	29	37	52	63	80	
		平均	6.5	11.5	19	26	32.5	40.5	52.5	63	77	
18°C	0°C		11	21	33	45	63	83	97	113	136	0.36
18°C	0°C		14	33	43	54	66	75	84	96	111	
		平均	12.5	27	38	49.5	64.5	79	90.5	104.5	123.5	

註：平均速率 = (45cm-5cm) / (45cm平均時間-5cm平均時間)

附件二 鹽度千分之一時之平均速率統計表：(水族箱大小：40×20×20，鹽：16克)

千分之一 鹽水水溫 (T _室)	冷熱 水溫 (T)		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	平均 速率
21°C	50°C		9	16	22	27	33	42	52	0.67
21°C	50°C		16	23	29	36	42	50	62	
		平均	12.5	19.5	25.5	31.5	37.5	46	57	
21°C	45°C		10	13	19	26	35	46	54	0.55
21°C	45°C		8	12	22	32	41	52	74	
		平均	9	12.5	20.5	29	38	49	64	
21°C	40°C		11	15	21	26	32	44	54	0.71
21°C	40°C		13	20	27	33	42	49	54	
		平均	12	17.5	24	29.5	37	46.5	54	
21°C	35°C		11	20	32	62	86	100	127	0.17
21°C	35°C		22	35	63	91	117	244	285	
22°C	35°C		34	48	64	82	117	162	200	
		平均	22.33	34.33	53.00	78.33	106.67	168.67	204.00	
22°C	30°C		17	43	60	77	94	111	143	0.24
22°C	30°C		13	20	34	70	95	110	138	
		平均	15	31.5	47	73.5	94.5	110.5	140.5	
22°C	25°C		15	37	64	118	232	287	390	0.10
22°C	25°C		16	45	66	95	137	174	238	
		平均	15.5	41	65	106.5	184.5	230.5	314	
22°C	20°C		12	16	22	29	40	47	57	0.41
22°C	20°C		6	21	38	58	78	102	134	
22°C	20°C		23	27	32	35	40	47	56	
22°C	20°C		23	36	49	68	206	310		
22°C	20°C		30	40	56	62	88	108	126	
22°C	20°C		8	15	24	32	38	48	74	
		平均	17.00	25.83	36.83	47.33	81.67	110.33	89.40	
22°C	15°C		13	23	31	38	46	56	143	0.31
22°C	15°C		13	22	29	37	46	56	76	
		平均	13	22.5	30	37.5	46	56	109.5	
22°C	10°C		8	13	21	28	34	43	55	0.63
22°C	10°C		11	17	23	29	40	49	60	
		平均	9.5	15	22	28.5	37	46	57.5	
22°C	5°C		10	21	29	35	40	47	63	0.63

22°C	5°C		13	18	22	28	38	46	56	
		平均	11.5	19.5	25.5	31.5	39	46.5	59.5	
22°C	0°C		11	16	23	29	36	42	52	0.31
22°C	0°C		13	20	28	37	45	56	66	
		平均	14.23	24.09	35.12	49.00	70.81	92.92	112.18	

註：平均速率 = (35cm-5cm) / (35cm平均時間-5cm平均時間)

附件三 鹽度百分之一，水深20cm時之平均速率統計表（水族箱：40×20×20；鹽：160克）

百分之一 鹽水水溫 (T _室)	冷熱 水溫 (T)		5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	平均 速率
22°C	50°C		14	22	27	32	38	45	51	0.45
22°C	50°C		15	25	50	61	85	95		
		平均	14.5	23.5	38.5	46.5	61.5	70		
22°C	45°C		11	16	23	28	35	44	55	0.53
22°C	45°C		4	47	58	66	71	76	82	
22°C	45°C		18	27	33	39	47	55	63	
		平均	11.0	30.0	38.0	44.3	51.0	58.3	66.7	
23°C	40°C		9	15	19	24	27	31	35	0.91
23°C	40°C		10	19	25	30	36	43	48	
		平均	9.5	17	22	27	31.5	37	41.5	
23°C	35°C		15	32	42	59	76	93	118	0.51
23°C	35°C		10	14	16	21	26	31	36	
		平均	12.5	23	29	40	51	62	77	
24°C	30°C		22	34	43	55	66	76	85	0.61
24°C	30°C		10	15	20	25	30	38	44	
		平均	16	24.5	31.5	40	48	57	64.5	
24°C	25°C		19	33	69	97	128	174	266	0.25
23°C	25°C		6	12	19	30	41	50	60	
		平均	12.5	22.5	44	63.5	84.5	112	163	
23°C	20°C		17	24	30	38	50	66	79	0.49
23°C	20°C		10	22	36	44	54	64	76	
		平均	13.5	23	33	41	52	65	77.5	
23°C	15°C		16	29	46	70	101	140	57	0.11
23°C	15°C		33	50	85	138	253	349	停止	
		平均	24.5	39.5	65.5	104	177	244.5	57	
23°C	10°C		12	22	36	53	75	94	115	0.31
23°C	10°C		7	12	25	51	66	84	104	
		平均	9.5	17	30.5	52	70.5	89	109.5	
23°C	5°C		10	17	29	42	52	66	100	0.46
22°C	5°C		18	26	34	45	55	71	86	
		平均	14	21.5	31.5	43.5	53.5	68.5	93	
22°C	0°C		7	14	22	39	51	69	85	0.39
22°C	0°C		11	18	24	30	39	77	94	
		平均	9	16	23	34.5	45	73	89.5	

註：平均速率 = (30cm-5cm) / (30cm平均時間-5cm平均時間)

附件四 不同濃度下，各溫度平均流速表

	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C
純水		0.57	0.33	0.32	0.26		0.49		0.56		0.6
千分之一	0.31	0.63	0.63	0.31	0.41	0.1	0.24	0.17	0.71	0.55	0.67
百分之一	0.39	0.46	0.31	0.11	0.49	0.25	0.61	0.51	0.91	0.53	0.45

【評語】 030504

優點：能針對問題設計模擬實驗，進行觀測分析。

缺點：流速之測量不夠嚴謹，未考慮方向性。參考資料 6 有誤。

建議：下次再探究此相關主題時，應注意海水溫度與鹽度彼此之間的關係，並注意實驗結果之數據呈現之有效位數。