

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 地球科學科

第三名

030507

珊瑚生長環境受海洋內波影響？－海洋內波之  
實驗室模擬

學校名稱：臺北市立龍門國民中學

|               |              |
|---------------|--------------|
| 作者：<br>國二 陳又瑄 | 指導老師：<br>陳英杰 |
|---------------|--------------|

關鍵詞：內波、珊瑚

# 珊瑚生長環境受海洋內波影響？－海洋內波之實驗室模擬

## 摘要

珊瑚（圖1）是很珍貴的海洋生物，珊瑚生長對海洋環境的特性及溫度變化非常敏感，因此往往也是衡量全球暖化環境變遷的重要指標。本研究利用實驗水槽模擬海洋內波碰到不同地形所產生的變化，並從實驗結果推測珊瑚生長和內波的可能關係。結果顯示，內波經過地形障礙物時會受影響而產生複雜的變化，如破碎變形、湧升沉降、越頂、渦旋、反射等現象，這些過程很可能使得下層水上升、翻攪混合，進而造成上下層水密度混合均勻。從模擬結果推測內波抵達東沙環礁或墾丁南灣後，可能會把海洋下層含營養鹽較高的海水帶上來，也可能經由水體上下混合而降低海水溫度。在全球暖化、海水增溫的情況下，內波很可能使得這些地方的珊瑚仍能存活，並減輕白化的威脅。

## 壹、研究動機

去年暑假到高雄國立科學工藝博物館參觀「2009海洋教育博覽會」時，看到圖2的波浪展示機，透明密閉容器內有兩層液體（下層是綠色的液體，上層是較透明的液體），當容器上下擺動時，兩層液體之間會產生波浪。上學期自然課老師介紹「密度」的單元時，說明不能互溶的油與水會因為密度不同而分層，於是我將圖2的照片電子檔寄給老師，請教波浪展示機裝置內的液體是不是油和染色的水，後來老師告訴我這兩種液體不一定是油和染色的水，但這兩層液體之間產生的波浪是一種內波。後來自然課學習「波動」單元時，課程中並沒有關於「內波」的介紹，因此上網搜尋相關資料，我發現一篇名為「海面下巨浪內波－促進珊瑚成長」的報導提到：「台灣大學海洋研究所在東沙島附近海平面下，觀測到全球規模最大，相當於40層樓高的巨浪，這些巨浪不但影響東沙島附近珊瑚的分布…」（<http://news.pts.org.tw/detail.php?NEENO=64909>）另外，《聯合報》2008年1月19日報導：「全球暖化導致各地珊瑚正遭受白化或死亡浩劫，但南灣的珊瑚因為有來自深海冷水團的調節，使白化率不到3%…」。以上兩則報導是否有所關聯呢？珊瑚的生長環境是否受內波影響呢？除此之外，內波帶上來的冷水有無可能在這些海域減緩海水暖化的趨勢？這些問題引發我的興趣，於是進行進一步的實驗研究，以解開這「神秘的巨浪－內波」怎麼會影響珊瑚生長之謎。



圖 1 台灣橙火炬珊瑚(戴昌鳳攝)



圖 2 波浪展示機

## 貳、研究目的

- 一、尋找實驗室製造內波之方法。
- 二、探討海洋內波形成的原因及其基本特性。
- 三、模擬內波到達海底斜坡及經過障礙物時之情形。

## 參、研究設備及器材

### 一、自製透明壓克力水槽

本實驗共設計了以下 4 種水槽：

- (一) 長 80cm；寬 1.5cm；高 25cm，如圖 3。



圖 3 實驗水槽一

- (二) 長 80cm；寬 6cm；高 20cm，如圖 4。



圖 4 實驗水槽二

- (三) 長 80cm；寬 1.5cm；高 30cm，如圖 5。



圖 5 實驗水槽三

(四) 長 150cm；寬 5cm；高 35cm，如圖 6。



圖 6 實驗水槽四

## 二、器材

SONY 硬碟式攝影機 (DCR-SR45)、水底攝影燈、電子秤、三腳架、量筒、燒杯、玻棒、刮勺、滴管、移液管、吸量管、安全吸球、重錘、鈹鐵硼磁鐵、壓克力管、壓克力板、食鹽、紅墨水。

## 肆、研究方法或過程

### 一、各種造波法之探討

本實驗共設計了以下 5 種的造波方法：

#### (一) 注射擾動法

1. 將濃度 3.5% 的鹽水倒入圖 3 之水槽內直到液面達 12 公分高，再從水槽右側斜坡頂端緩緩注入紅墨水 80 毫升，形成紅墨水在上而鹽水在下的雙層水體。
2. 待兩層液體靜止而無波動後，由水槽左端上方垂直注入紅墨水 40 毫升，然後利用攝影機拍攝兩層液體之交界面的波動情形。

#### (二) 隔板擾動法

1. 將 3.5% 的鹽水 3 公升倒入圖 4 之水槽，再緩緩注入紅墨水 200 毫升。
2. 待紅墨水與鹽水之界面無波動後，將活動隔板由水槽上方以自由落下方式插入水槽中央。
3. 利用攝影機拍攝上下兩層液體之交界面的波動情形。
4. 重複上述操作 1，並將活動隔板輕輕放入，待兩層液體之界面無波動後，迅速將活動隔板向上抽出，並重複上述操作 3。

#### (三) 重物擾動法

1. 將長 30 公分；內徑為 2 公分的透明壓克力管鉛直固定於圖 4 之水槽中央，管之底端距離槽底 3 公分，接著將 3.5% 的鹽水 3 公升倒入水槽內，再緩緩注入紅墨水 200 毫升。

- 2.待上下兩層液體之界面無波動後，將 110 公克重錘從壓克力管內之頂端釋放，使其鉛直落入水槽液體中。
- 3.利用攝影機拍攝兩層液體之交界面的波動情形。

#### (四) 滾輪擾動法

- 1.圖 3 之水槽倒入 3.5%鹽水至 14 公分高，然後將厚度 1.4 公分；直徑為 2.5 公分的壓克力圓輪以強力磁鐵固定於鹽水面下的斜坡上，再緩緩注入紅墨水至液面達 15 公分高。
- 2.待兩液體之界面無波動後，移動強力磁鐵使壓克力圓輪沿斜坡滾下。
- 3.利用攝影機拍攝上下兩層液體之交界面的波動情形。

#### (五) 水體交流法

- 1.將圖 6 的水槽加入 3.5%鹽水至 8 公分高，再將活動隔板放入槽中固定，接著於隔板左側持續注入紅墨水，直至紅墨水滲透至右側且漂浮於鹽水上而液面達 12 公分高為止。
- 2.吸出隔板左側水體上層的紅墨水，並注入鹽水至液面與隔板右側液面等高。
- 3.待上下兩層液體之界面無波動後，向上抽出活動隔板並利用攝影機拍攝兩層液體之交界面的波動情形。
- 4.將隔板右側之鹽水高度改為 4 公分，紅墨水高度改為 8 公分。重複上述操作 1 至 3，並比較其結果。

### 二、探討上下層水體密度差對於內波振幅及波速之影響

- 1.將圖 5 的水槽加入 3.0%鹽水至 12 公分高，再將活動隔板放入槽中固定，接著於隔板左側持續注入紅墨水，直到紅墨水滲透至右側且漂浮於鹽水上而液面達 18 公分高為止。
- 2.吸出隔板左側水體的紅墨水，並注入鹽水至液面達 18 公分高。
- 3.待兩層液體之界面無波動後，向上抽出活動隔板並利用攝影機拍攝內波的移動情形，並依據影像分析振幅及計算波速。
- 4.分別以濃度 2.0%及 1.0%鹽水，重複上述操作 1 至 3，並比較其結果。

### 三、模擬內波到達直立障礙物時之情形

- 1.圖 3 之水槽加入 3.5%鹽水 12 公分高，然後將厚度 1.4 公分；直徑為 2.5 公分的壓克力圓輪以強力磁鐵固定於鹽水面下的斜坡上，接著緩緩注入紅墨水至 15 公分高。
- 2.待兩液之界面無波動後，移動強力磁鐵使壓克力圓輪沿斜坡滾下。
- 3.利用攝影機拍攝內波前進至水槽邊界之過程，並進行影像分析。

### 四、模擬內波遭遇海底斜坡時之情形

- 1.將高 15 公分；斜角 60 度的壓克力斜坡固定於圖 3 之水槽左端，然後

水槽加入 3.5%鹽水至 13 公分高，接著將厚度 1.4 公分；直徑 2.5 公分的壓克力圓輪以強力磁鐵固定於左端斜角 60 度之斜坡上，最後緩緩注入紅墨水至 16 公分高。

- 2.待兩液之界面無波動後，移動強力磁鐵使壓克力圓輪沿斜坡滾下。
- 3.利用攝影機拍攝內波到達水槽右端斜角為 30 度的斜坡之過程，並進行影像分析。
- 4.提高壓克力圓輪於斜坡上之高度，重複上述操作 1 至 3，並比較其結果。
- 5.改變右端斜坡斜角為 60 度，重複上述操作 1 至 3，並比較其結果。
- 6.以濃度 2.0%鹽水進行上述操作 1 至 3，並比較其結果。

#### 五、模擬內波通過海脊時之情形

- 1.圖 3 之水槽中央先放入厚 1.4 公分、高 9 公分之正三角形壓克力塊，再加入 3.5%鹽水至 10 公分高，接著將直徑 2.5 公分的壓克力圓輪以強力磁鐵固定於鹽水面下的斜坡上，最後注入紅墨水至 12 公分高。
- 2.待兩液之界面無波動後，移動強力磁鐵使壓克力圓輪沿斜坡滾下。
- 3.利用攝影機拍攝內波通過正三角形壓克力塊之過程，並進行分析。

#### 六、模擬內波經過圓柱體時之情形

- 1.圖 3 之水槽中央先放入直徑 4 公分之壓克力環，並以強力磁鐵固定，再加入 3.5%鹽水至 12 公分高，接著將直徑 2.5 公分的壓克力圓輪以強力磁鐵固定於鹽水面下的斜坡上，最後注入紅墨水至 15 公分高。
- 2.待兩液之界面無波動後，移動強力磁鐵使壓克力圓輪沿斜坡滾下。
- 3.利用攝影機拍攝內波通過壓克力環之過程，並進行影像分析。
- 4.改以直徑 12 公分之壓克力環，重複上述操作 1 至 3，並比較其結果。

### 伍、實驗結果

#### 一、各種造波法之探討

##### (一) 注射擾動法

以注入液體方式擾動所形成之內波，向右移動情形如圖 7-1 及圖 7-2。



圖 7-1

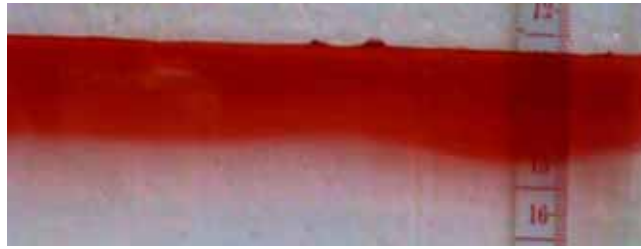


圖 7-2

(二) 隔板擾動法

1. 將活動隔板由水槽上方以自由落下方式插入槽中所形成之內波，由水槽中央向兩側移動之情形如圖 8-1 至圖 8-4。

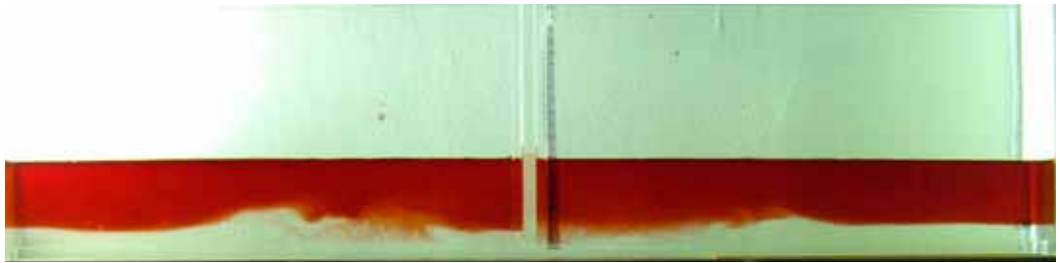


圖 8-1

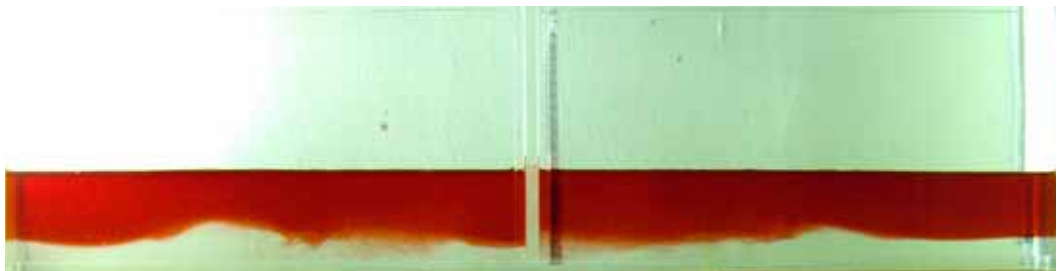


圖 8-2

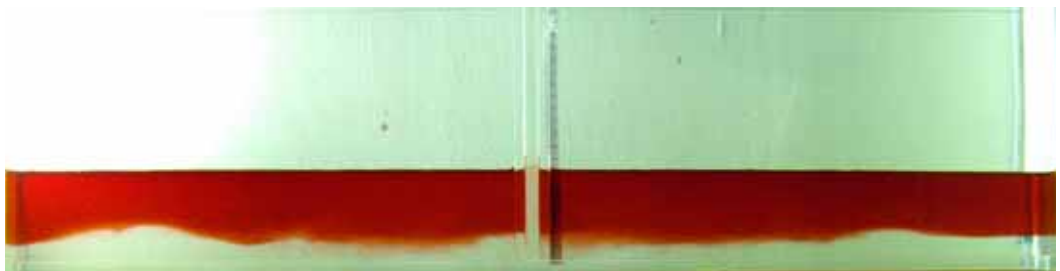


圖 8-3

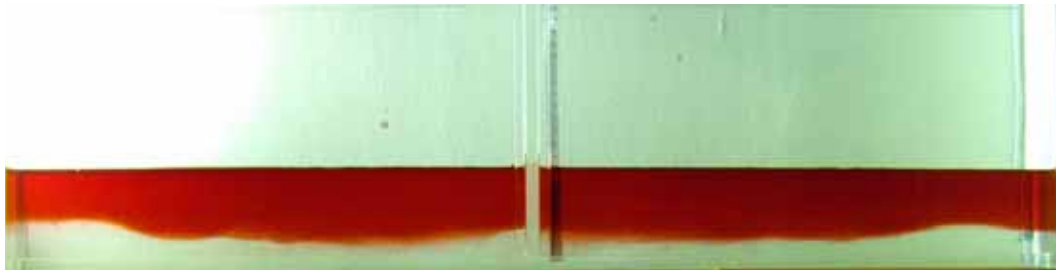


圖 8-4

2.以抽出活動隔板方式所形成之內波，波形不明顯。

(三) 重物擾動法

重錘自由落下進入槽中所形成之內波，移動情形如圖 9-1 及圖 9-2。



圖 9-1



圖 9-2

(四) 滾輪擾動法

以圓輪沿斜坡向下滾動方式所形成之內波，向右移動之情形如圖 10-1 至圖 10-3。





圖 10-1



圖 10-2



圖 10-3

(五) 水體交流法

1. 鹽水高度為 8 公分，紅墨水高度 4 公分所形成之內波，其波型為下沉型，如圖 11。



圖 11 下沉型內波

2. 鹽水高度為 4 公分，紅墨水高度 8 公分所形成之內波，其波型為上抬型，如圖 12。



圖 12 上抬型內波

## 二、探討上下層水體密度差對於內波振幅及波速之影響

下層鹽水濃度不同，所產生之內波振幅及波速如表 1。

表 1：不同鹽水濃度之內波振幅及波速

| 鹽水濃度 | 內波振幅    | 內波平均波速    |
|------|---------|-----------|
| 3.0% | 0.85 cm | 1.71 cm/s |
| 2.0% | 1.20 cm | 1.86 cm/s |
| 1.0% | 1.65 cm | 1.98 cm/s |

## 三、模擬內波到達直立障礙物時之情形

內波由左向右前進至水槽右邊界之過程，如圖 13-1 至圖 13-9。



圖 13-1 T=0sec



圖 13-2 T=2sec



圖 13-3 T=4sec



圖 13-4 T=6sec



圖 13-5 T=8sec



圖 13-6 T=10sec



圖 13-7 T=12sec



圖 13-8 T=14sec



圖 13-9 T=16sec

#### 四、模擬內波遭遇海底斜坡時之情形

(一) 內波向右前進至斜角 30 度之斜坡過程，如圖 14-1 至圖 14-11。

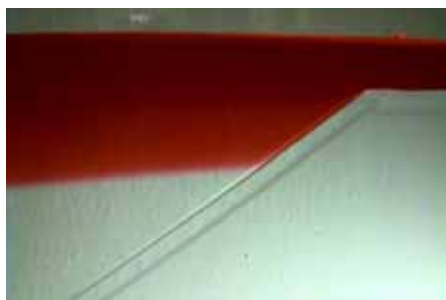


圖 14-1 T=0sec

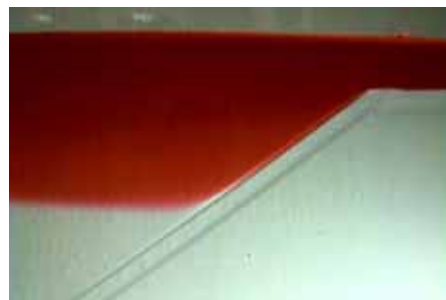


圖 14-2 T=2sec

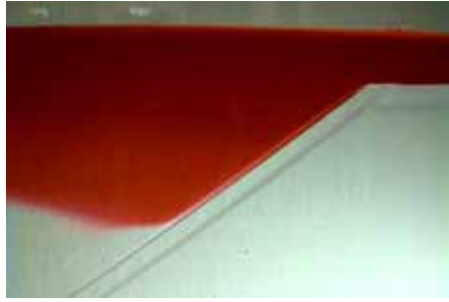


圖 14-3  $T=4\text{sec}$



圖 14-4  $T=6\text{sec}$

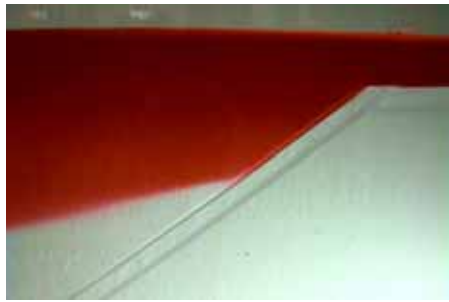


圖 14-5  $T=8\text{sec}$

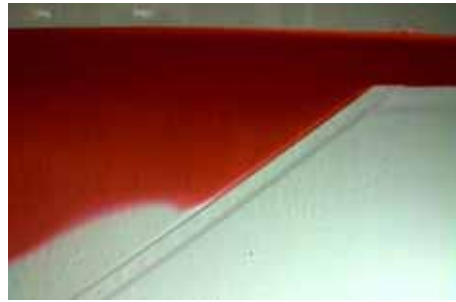


圖 14-6  $T=10\text{sec}$



圖 14-7  $T=12\text{sec}$



圖 14-8  $T=14\text{sec}$



圖 14-9  $T=16\text{sec}$



圖 14-10  $T=18\text{sec}$



圖 14-11  $T=20\text{sec}$

(二) 提高壓克力圓輪於斜坡上之高度，產生之內波振幅變大，內波沿斜坡躍升的高度增加。

(三) 內波向右前進至斜角 60 度之斜坡過程，如圖 15-1 至圖 15-6。



圖 15-1  $T=0\text{sec}$

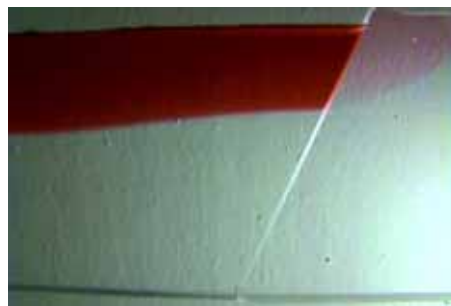


圖 15-2  $T=2\text{sec}$

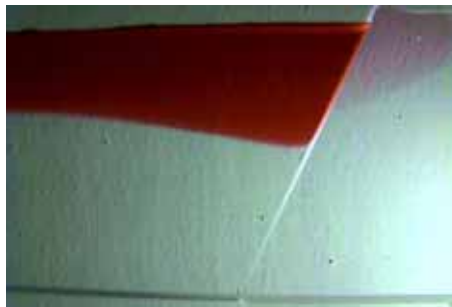


圖 15-3  $T=4\text{sec}$

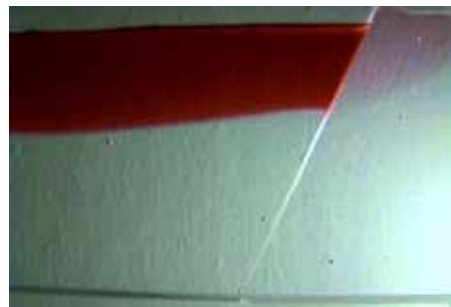


圖 15-4  $T=6\text{sec}$



圖 15-5  $T=8\text{sec}$



圖 15-6  $T=10\text{sec}$

(四) 水槽下層鹽水濃度為 2.0%，內波向右前進至斜角 30 度之斜坡過程，如圖 16-1 至圖 16-8。



圖 16-1 T=0sec



圖 16-2 T=2sec



圖 16-3 T=4sec



圖 16-4 T=6sec



圖 16-5 T=8sec



圖 16-6 T=10sec



圖 16-7 T=12sec



圖 16-8 T=14sec

### 五、模擬內波通過海脊時之情形

內波向右通過正三角形壓克力塊之過程，如圖 17-1 至圖 17-8。



圖 17-1  $T=0\text{sec}$

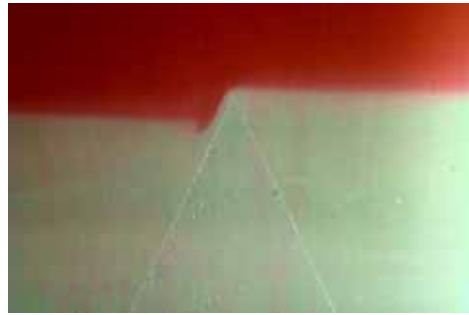


圖 17-2  $T=4\text{sec}$

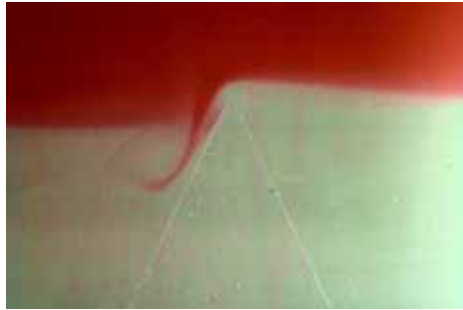


圖 17-3  $T=8\text{sec}$

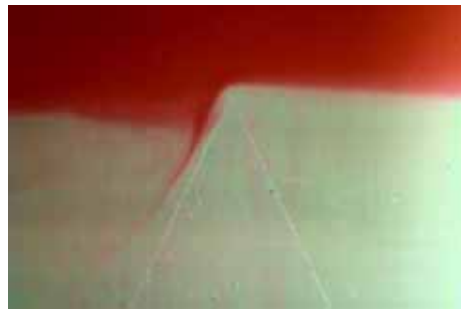


圖 17-4  $T=12\text{sec}$

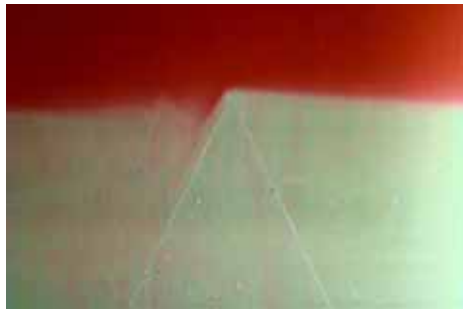


圖 17-5  $T=16\text{sec}$

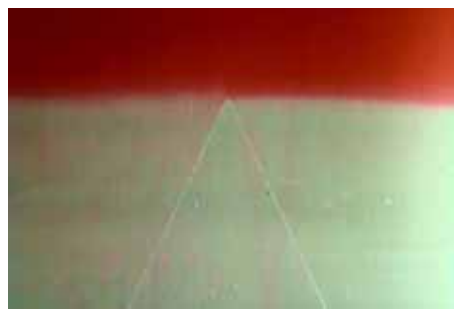


圖 17-6  $T=20\text{sec}$



圖 17-7  $T=24\text{sec}$



圖 17-8  $T=28\text{sec}$



## 六、模擬內波經過圓柱體時之情形

(一)內波向右通過直徑 4 公分的壓克力環之過程，如圖 18-1 至圖 18-8。



圖 18-1  $T=0\text{sec}$



圖 18-2  $T=1\text{sec}$



圖 18-3  $T=2\text{sec}$



圖 18-4  $T=3\text{sec}$



圖 18-5  $T=4\text{sec}$



圖 18-6  $T=5\text{sec}$



圖 18-7  $T=6\text{sec}$



圖 18-8  $T=7\text{sec}$



(二)內波向右通過直徑 12 公分的壓克力環之過程，如圖 19-1 至圖 19-8。



圖 19-1  $T=0\text{sec}$



圖 19-2  $T=2\text{sec}$



圖 19-3  $T=4\text{sec}$



圖 19-4  $T=6\text{sec}$



圖 19-5  $T=8\text{sec}$



圖 19-6  $T=10\text{sec}$



圖 19-7  $T=12\text{sec}$



圖 19-8  $T=14\text{sec}$

## 陸、討論

- 一、當流體內部密度垂直分布呈現層化構造時，流體層化界面受到擾動時便會出現波動，由於這種波發生在流體內部，因此稱作內波。根據文獻資料，海洋內波大多由潮汐所引起，能量主要來自潮汐。當海洋中深層海水因溫度、鹽度的變化出現密度的分層後，就可能在海水內部引發內波。此外，海底地震影響以及船舶運動等外力擾動，亦可能引發內波。
- 二、本研究的實驗方法是設計內波剖面水槽，佈置淡、鹽水分層之兩層水體系統，上層淡水的密度約為  $1000 \text{ kg/m}^3$ ，下層鹽水的密度約  $1020\sim 1025 \text{ kg/m}^3$ ，故上下水層之密度差在  $25 \text{ kg/m}^3$  左右。實驗配置之鹽水及紅墨水皆分別充分攪拌且靜置 1 日以上，目的是希望控制水體溫度及濃度二項變因。實驗共設計了 5 種的造波方法，其中以「滾輪擾動法」及「水體交流法」製造內波，可控制每次輸入能量的多寡，能形成較穩定的波形。
- 三、溫度固定時，鹽水濃度愈小密度愈小，若水槽下層為濃度較小的鹽水時，則其與上層紅墨水的密度差較小。表 1 之結果顯示，水槽上、下水層密度差愈小，內波的振幅及平均波速愈大。據此可說明以海洋表面波與內波來比較，海洋內波的振幅很大，海水混合層與底層間密度差非常小是原因之一。根據參考資料，目前科學家發現世界上最大的內波—南海內波的振幅可以高達 150 公尺，約 50 層樓高。
- 四、模擬內波到達直立障礙物之實驗結果顯示（圖 13-1 至圖 13-9），內波正向接觸鉛直障礙物後會完全反射，且波形幾乎沒有變化。
- 五、本實驗測量振幅之方法為於水槽中央黏貼刻度尺，藉以測量內波最低點（波谷）到達刻度尺時之位置（圖 20）與上、下水層交界面（圖 21）的高度差。測量波速是根據拍攝之影片，找出內波最低點通過固定水平距離所需時間後，再將距離除以時間求出其平均波速。



圖 20 內波波谷到達刻度尺



圖 21 上、下水層交界面

- 六、實驗中發現當內波傳遞至斜坡邊界上會產生紊流，造成上、下水體混和，波形發生極不穩定的破碎現象，同時形成離開斜坡邊界的反射波。本實驗探討固定斜坡底床之條件，以內波沿斜坡躍升的最高點（依據斜坡上之刻度尺來測量）比較其能量的高低，結果顯示振幅較大的內波能量較

高可躍升的高度較大。實驗中提高壓克力圓輪於斜坡上之高度(圖 22)，所產生之內波振幅變大，內波沿斜坡躍升的高度增加，鹽水層甚至可達斜坡頂且躍升至平台上(圖 23)，此現象正可說明海洋內波是一種非常重要的海洋運動，在海洋生物方面，內波湧昇流會把深海較冷的海水，連同其中的營養物質，帶到較暖的海洋上層，促進生物的生長。此外，斜坡斜角提高為 60 度，反射波明顯可見，但下層鹽水湧升之現象較不明顯。而水槽下層鹽水濃度為 2.0%，內波前進至斜角 30 度之斜坡過程(圖 16-1 至 16-8)，隱約可見紅墨水層與鹽水層之間形成一混合帶。



圖 22 斜坡上之壓克力圓輪



圖 23 鹽水層沿斜坡躍升至平台上

- 七、內波通過正三角形障礙物時，會形成渦旋並產生紊流(圖 17-3 至圖 17-5)。此結果說明海洋內波經過海底山脊時，所可能發生的渦旋現象。
- 八、實驗發現，當下層鹽水高度大於上層紅墨水高度時，內波之波型為下沉型(圖 11)；當下層鹽水高度小於上層紅墨水高度時，內波之波型為上抬型(圖 12)。據此可推論深海的內波向淺海傳播，碰到大陸棚時，由於水深變淺，內波因底層變薄，將由下沉型內波轉變成上抬型內波。
- 九、海洋內波的傳播過程中，所產生的擾動可能導致突發性的強流，對海洋生態、工程造成相當影響；例如對石油鑽井平台、海底輸油管、水下航行及潛艇軍事活動可能造成嚴重的威脅。本實驗模擬內波經過圓柱體之過程，由攝錄的影片中發現以強力磁鐵固定之壓克力圓管(圖 24)，會因內波通過而產生劇烈的搖晃，可說明內波可能造成上述之破壞現象。



圖 24 以強力磁鐵固定之壓克力圓管

- 十、實驗發現水槽上、下水層高度差愈大，內波的振幅及波速愈大，波形亦有所不同。此結果顯示海洋上、下水層相對高度為影響內波振幅、波速及波形的主要因素。

## 柒、結論

經由一系列實驗，研究者成功地模擬並觀察到內波的許多現象，也了解內波的基本特性，歸納結論如下：

- 一、實驗結果顯示，大振幅的內波沿 30 度斜坡爬升可達平台上（圖 23），這個現象可說明海洋內波是一種非常重要的海洋運動，而海水混合層與底層間密度差異小，海洋內波的振幅大、能量高，能將中、下層較冷的海水，連同其中的營養物質，帶到接近海岸邊的海洋上層，促進生物生長。
- 二、深海的內波向淺海傳播，將由下沉型內波轉變成上抬型內波。當上抬型的內波抵達東沙島或是墾丁南灣海岸時，可能就是海水溫度下降，海中營養物質變得比較豐富的原因。
- 三、實驗結果顯示，只要不同深度的鹽水密度不同而有上下分層，當遭受外界擾動後，將會在分層的界面形成內波，因此海洋內波的形成原因是海水密度穩定分層且受到外力擾動。海洋上、下水層相對高度是影響內波振幅、波速及波形的主要因素。
- 四、內波經過地形變化的地區時，如海底山脊、陸棚...等，會與地形產生一連串의 交互作用，如破碎變形、湧升沉降、越頂、渦旋、反射等現象。
- 五、使用「滾輪擾動法」及「水體交流法」製造內波，可控制每次輸入能量的大小，能獲得比較穩定而易於觀察的波形，為實驗室製造內波的良好方式。本實驗設計之裝置具有操作簡易及結果容易觀察之特點，可應用於中學自然科之教學上。

## 捌、參考資料

- 李逸環（2010）。珊瑚白化的救星。科學發展，445，44-47。
- 許明光等（2010）。神秘的巨浪－南海內波。科學發展，446，52-61。
- 陳震遠（2008）。認識海洋內波現象。海洋環境電子報第七期。取自：  
<http://www.maev.nsysu.edu.tw/epaper/08007.htm>
- 戴昌鳳（2008）。氣候變遷對海洋生物的影響。林業研究專訊，15(2)，16-19。
- 海面下巨浪內波促進珊瑚成長。公視新聞網。取自：  
<http://news.pts.org.tw/detail.php?NEENO=64909>
- 海面下的巨浪－內波。行政院國家科學委員會 自然學發展處。取自：  
<http://www.nsc.gov.tw/nat/fp.asp?xItem=11576&ctNode=1796>

## 【評語】 030507

優點：

嘗試設計實驗模擬物理海洋學中之「內波」並做些基本測量。

缺點：

整體實驗設計較像是物理實驗，欠缺將實驗結果與海洋物理現象做聯結，例如為何設計五種造波方式，各代表自然界的什麼機制...等。

建議改進事項：

- 1.每一種實驗是否有重複進行數次？若有應在實驗記錄中顯示，尤其是波長之判斷更需重覆實驗數次。
2. 加強將實驗結果、步驟與自然界之情況結合。並增加與珊瑚生長之間相關討論。