

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

佳作

051909

海洋雙渦漩系統之探究

學校名稱：國立臺南第一高級中學

| | |
|-------------------------|---------------------|
| 作者： 高二 周秉陞 高二 陳仕恩 | 指導老師： 施怡如 林珈樺 |
|-------------------------|---------------------|

關鍵詞：雙渦漩系統、中尺度海洋渦漩、遙測資料分析

摘要

本研究透過分析海表面溫度及衛星測高等遙測資料、觀察海洋雙渦流系統，並且以 U、V 兩方向流速數據繪製流線進行比對，我們追蹤紐澳之間以及澳洲西邊的八組雙渦流系統，發現雙渦流系統遇到地形邊界會分開並退回，另外還能將溫暖的海水帶向高緯度。我們又以實驗模擬雙渦流系統，探討其構造、並且確認雙渦流系統會互相傳遞物質與熱量，以及攜帶物質與熱量前進。另外當雙渦流系統連結處遇到較細小的阻礙物時，會先斷開，通過障礙物後立刻又會接上；當遇到大型阻礙物時，雙渦流則會順著邊界彼此分開並退行；當雙渦流系統往水深愈來愈淺的水域移動時，渦流垂直結構會傾斜，下方連結處移動較慢，雙渦流會平行等深線先靠近再分開，而後沿著邊界退行。

壹、研究動機

高一地科課上到海流時，老師讓我們看全球海流實際流向觀測紀錄，除了幾道主要的海流外，我們還看到許多打轉的渦流，讓我感到十分新奇，於是查詢渦流相關的資料，讀到一則 University of liverpool 發布的有趣新聞:大多朝向西方移動的渦流中，Chris Hughes 教授觀察到有個雙渦流系統大約花了六個月的時間由西向東穿越塔斯曼海，而且行進速度是普通渦流移動速度的十倍。這則新聞吸引我們的注目，使我們想研究雙渦流系統。

在搜尋資料的過程，我們發現可以透過實驗的方法製造出雙渦流系統，因此我們希望可以利用衛星觀測資料來分析雙渦流系統外，並透過實驗來了解雙渦流系統的構造、能量傳遞情形，以及影響其行進與消散的因素。

貳、研究目的

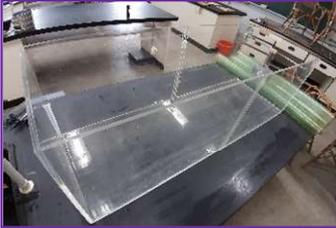
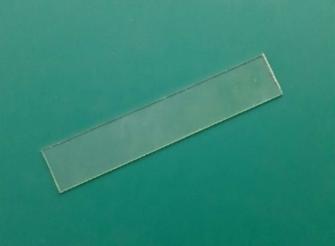
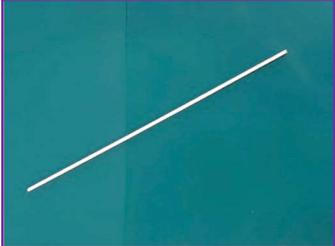
- 一、分析衛星資料以確認、了解雙渦流系統之生成、結構、行經路徑與消散
- 二、透過實驗了解雙渦流系統的構造。
- 三、透過實驗了解雙渦流系統的物質與熱量傳遞情形。
- 四、透過實驗了解雙渦流系統行進與消散的影響因素。

參、研究設備及器材

一、使用軟體:

SNAP 衛星影像處理軟體、ENVI IDL 交互數據語言、Tracker 影片分析軟體、Excel,Word 文件軟體

二、實驗材料

| | | |
|---|---|--|
| <p>壓克力水槽</p>  <p>圖 1 長 118.3 寬 38 高 38.2cm</p> | <p>光碟</p>  <p>圖 2</p> | <p>LED 燈管</p>  <p>圖 3</p> |
| <p>量角器</p>  <p>圖 4</p> | <p>塑膠板</p>  <p>圖 5</p> | <p>木板</p>  <p>圖 6</p> |
| <p>轉軸</p>  <p>圖 7</p> | <p>金蔥粉</p>  <p>圖 8</p> | <p>FLIR 熱像儀</p>  <p>圖 9</p> |
| <p>細桿 0.2cm(阻礙實驗)</p>  <p>圖 10</p> | <p>粗桿 1cm(阻礙實驗)</p>  <p>圖 11</p> | <p>擋板(阻礙實驗)</p>  <p>圖 12</p> |

肆、研究過程

一、研究架構:

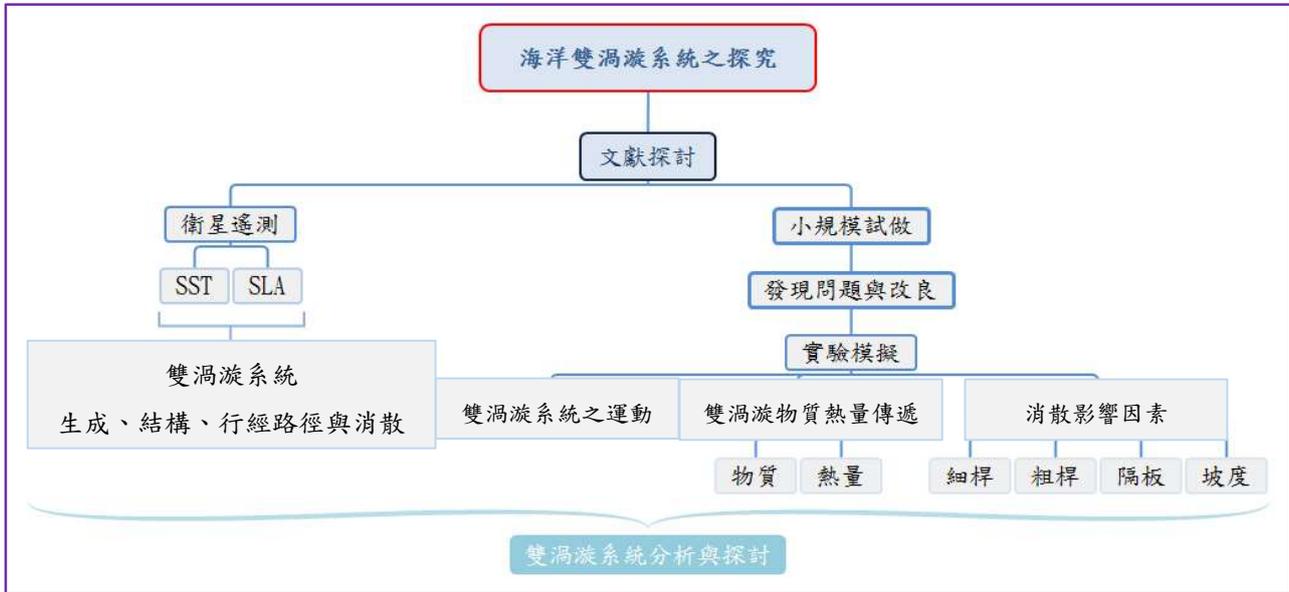


圖 13、研究架構圖

二、相關理論與文獻：

(一) 中尺度海洋渦漩 (Mesoscale eddy):

中尺度海洋渦漩是一種受海流、風場或海底地形影響之海水旋轉的自然現象，其渦漩半徑約介於 10~100km 之間，在大洋中，可能受羅斯倍波影響而往西傳遞，前人研究指出，西北太平洋海域的中尺度渦漩平均存活時間約為 18 週，平均半徑約為 85 公里 (Wyrski et al., 1976; 廖, 2010; Liu et al., 2012; Cheng et al., 2014; 鄭, 2017)

中尺度渦漩攜帶了極大的動能，在海洋物質與能量的傳遞上，扮演重要的角色，他能將深層冷水或營養鹽帶至表層，也可將表層暖水帶至深層，除了垂直向的影響，隨著渦漩水平移動，也能將物質與能量攜帶至遠方。

中尺度渦旋的旋轉方向可以分成氣旋渦以及反氣旋渦，北半球的氣旋渦為逆時針旋轉，反氣旋渦為順時針旋轉，而南半球旋轉方向則反之，如圖 14 呈現的關係。

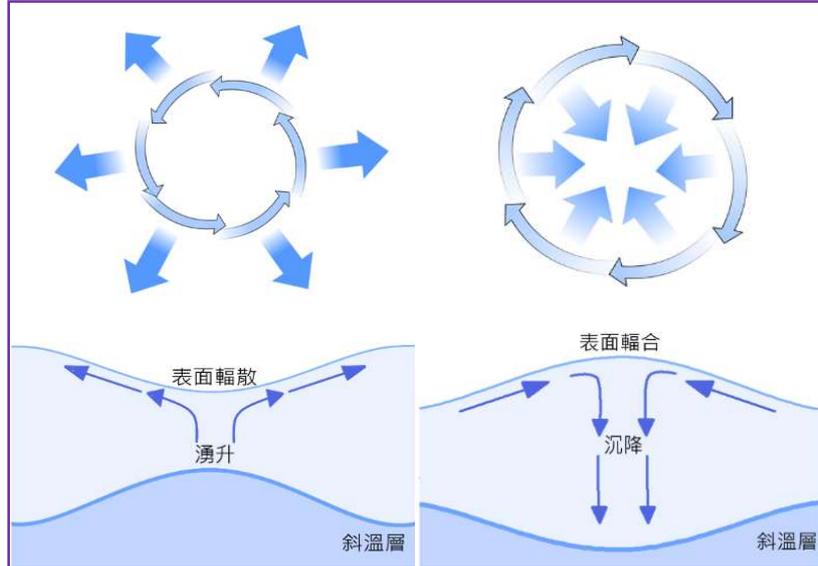


圖 14、以北半球為例的渦旋

(二) 海洋雙渦旋系統:

在海上偶爾會產生一對渦旋相連移動的現象，當海洋雙渦旋系統出現時，它們的移動速度比一般的渦旋快得多，而且不一定往西傳遞。氣旋渦與反氣旋渦共同組成一對雙渦旋系統，而且雙渦旋的底部可能相連通，彼此可以傳遞物質與能量，如附圖 15。

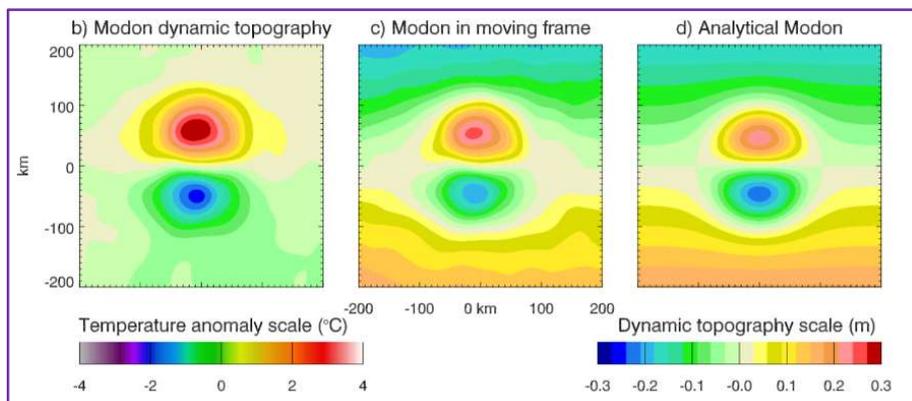


圖 15、圖片取自:(Hughes and Miller,2017)

(三) 雙渦漩系統的立體結構:

前人研究推測兩個渦漩可能彼此相連、底部相通(Hughes and Miller,2017)，這與 Physics Girl 的視頻 Crazy pool vortex 類似，由其模擬實驗的影像中我們可以清楚看出雙渦漩的立體結構，而且兩渦漩可以一起移動，我們參考其方法設計實驗。

根據亥姆霍茲定理，對於無黏性、正壓流體受外力產生之渦漩會符合下列三個定理(維基百科):

第一定理：渦線的強度沿著渦線方向始終保持不變。

第二定理：渦線在流體中不會自行產生或消失，只能首尾相接、沿伸至無窮遠處或終止於邊界處。

第三定理：在沒有外力作用的情形下，無旋流動始終會保持無旋形式。

所以我們推測雙渦漩應屬於第二定理中「終止於邊界處」，即雙渦漩在海氣邊界開始與結束。

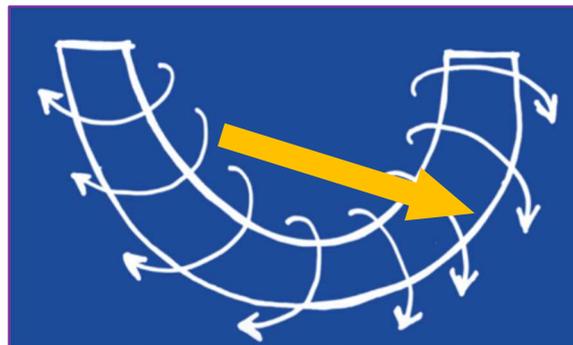


圖 16、渦漩系統的立體結構

(四) 雙渦透鏡:

我們從模擬視頻中可以看到雙渦漩系統形成時，其渦漩下方可以看到兩個明顯的暗斑。這兩個暗斑是因為水與空氣折射率不同導致渦漩中心下凹處如同凹透鏡的效果，能使光線發散產生暗斑，這可以做為模擬實驗中追蹤渦漩的參考之一。

伍、研究方法與結果

探究一 以衛星遙測資料分析觀察海洋雙渦漩系統

我們藉由分析衛星遙測數據來了解海洋雙渦漩系統，研究方法如下:

一、在本研究中，以海水的 SST 輔以 SLA 作為渦漩存在的判斷，並且輔以 UCUR、VCUR 繪製的流場增益我們追蹤渦漩的效果:

(一) SST(sea surface temperatures, °C):海水的表面溫度。

本研究選用 SST 資料是單傳感器多衛星的 SSTfnd 產品，使用 AVHRR 儀器對所有可用的 NOAA 繞極軌道衛星的觀測結果得出。它以 0.02deg x 0.02deg 圓柱等距投影圖的形式提供。

(二) SLA(sea level anomalies, m):海平面高度異常。

本研究選用 SLA 資料是澳大拉西亞地區的網格化海平面異常，其繪製使用了經過偏移，經去平均值內插。

(三) UCUR:向東為正的東西向海流流速。

(四) VCUR:向北為正的南北向海流流速。

二、衛星遙測數據來自 IMOS(澳洲政府支持之國家合作研究)提供的澳洲及紐西蘭的海域相關資料。我們可以從網頁上取得各式各樣的資料，只需要挑選遙測項目(SST、SLA)，再選取經緯度以及時間序列，最後下載時設定成 NetCDF(.nc 檔)，等待申請核可後就可以下載並使用該項資料。

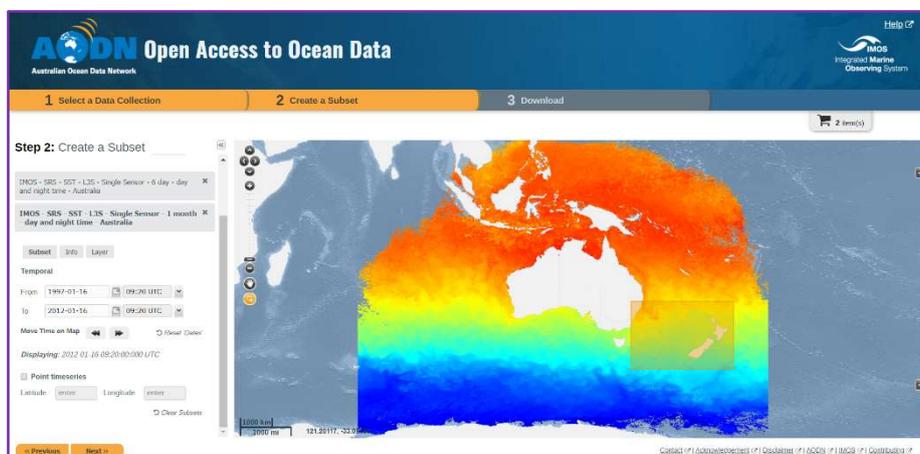


圖 17、IMOS 遙測數據下載

三、參考 W.Hughes 所觀測的九個海洋雙渦流系統，本研究選取其中八組雙渦流系統存在時的數據，起始年份分別為 2002、2003、2006、2010(前四組資料東經 140°~180°，南緯 30°~50°)、1999、2000、2001、2006(後四組資料東經 90°~120°，南緯 30°~45°)，其存續期間依各個雙渦流系統而異。

四、資料處理與分析:

(一) 本研究首先藉由 SNAP 軟體檢視海水表面溫度(SST)和海面高度差異(SLA)等衛星資料。

使用 SNAP 軟體除了能檢視衛星資料的資訊之外，還能將整個檔案(NetCDF)匯出成 ENVI 格式，以利後續使用 ENVI IDL 讀取及繪圖

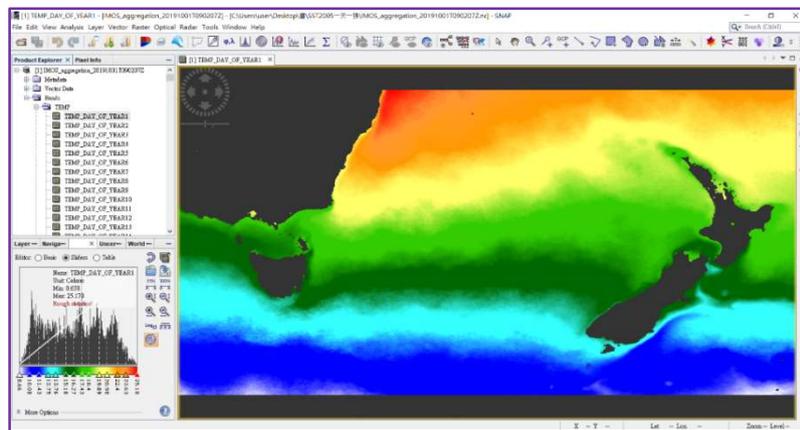


圖 18、SNAP 軟體介面

(二) 接著使用 IDL(有使用 ENVI 函數庫)將衛星資料讀出(地圖投影為麥卡托投影)，並經過調整以 color table33 著色匯出成多張圖片，而後在圖上標註日期、經緯度。

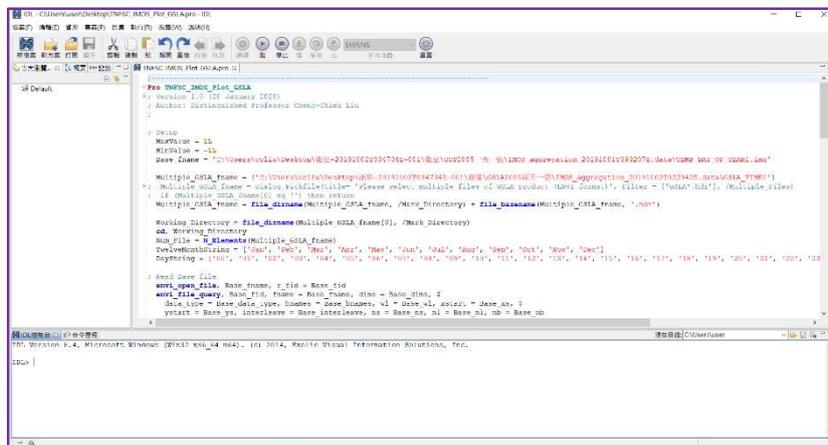


圖 19、IDL 介面

(三) 讀取 SLA 附帶資料的海流資訊(UCUR、VCUR)，使用 IDL 繪製流線(streamline)，分別疊在 SST 及 SLA 上，能劃出海洋渦漩的範圍，南半球逆時針渦漩在 SLA 上多呈現正異常(渦漩中心比平均海平面高)，而順時針渦漩多呈現負異常(渦漩中心比平均海平面低)，有海洋渦漩的地方也可以在 SST 圖中看出範圍。

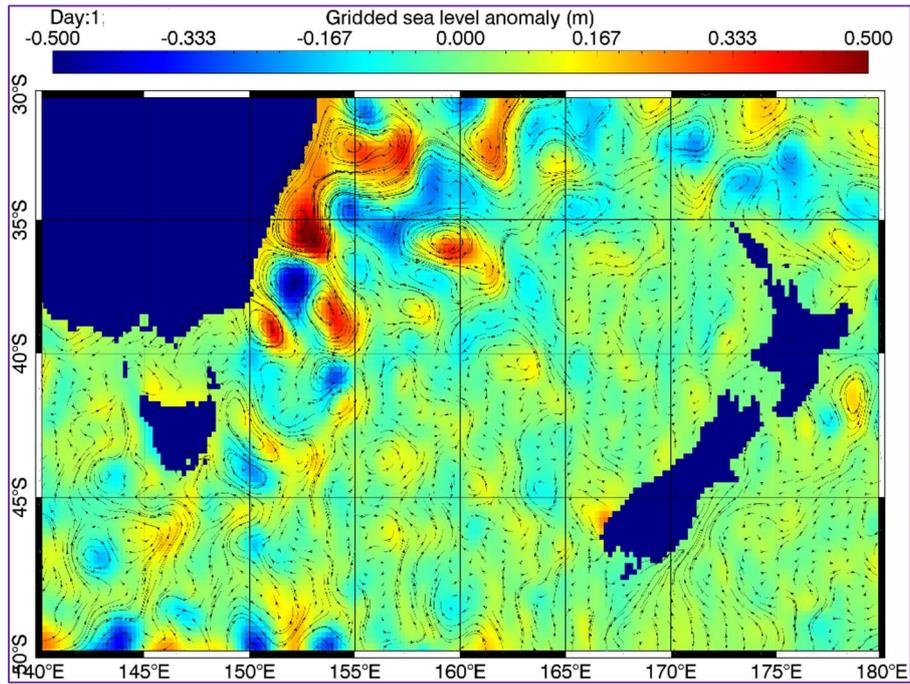


圖 20、SLA 圖(包含流線)

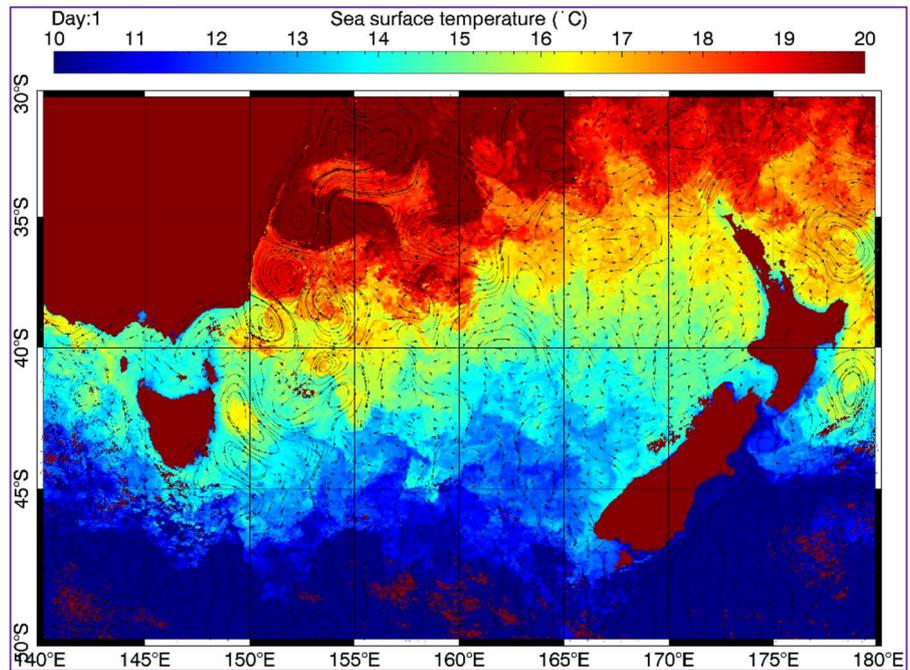


圖 21、SST 圖(包含流線)

(四) 本研究判斷海洋渦漩的定義:

1. 流線所呈現的樣貌近似橢圓或圓形。
2. 渦漩中心定義為該封閉流線內異常值最高或最低的點。

(五) 最後將各時間的圖片輸出成連續的 gif 或影片檔案，以利我們觀察海洋資料

五、本研究中觀察的雙渦漩系統有八組，我們將其分成紐澳之間 (東經 140°~180°，南緯 30°~50°)及澳洲西部(東經 90°~120°，南緯 30°~45°)海域兩類:

(一) 東經 140°~180°，南緯 30°~50°:

1. 本範圍我們共分析四組雙渦漩系統，取其中一組呈現在第 2 點，其餘資料在附錄中呈現。
2. 我們標記 2010-2011 間出現的雙渦漩系統(從 6/25 穩定存在起每隔十天標示其位置)，分別以藍色、紅色代表雙渦漩位置，這組是最典型的雙渦漩系統，存續時間長、能明顯辨別，並且由西邊向東邊移動。

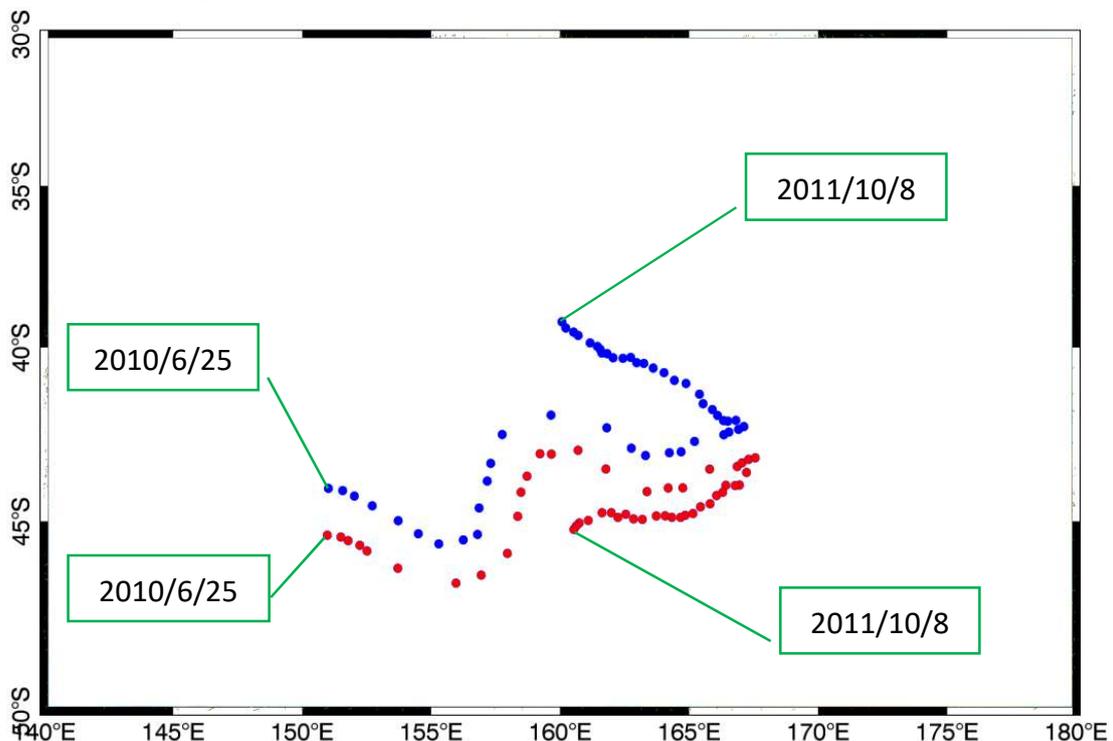


圖 22、2010-2011 間出現的雙渦漩系統軌跡，每隔十天標示其當下位置

(二) 東經 90°~120°，南緯 30°~45°:

1. 本範圍我們共分析四組雙渦漩系統，取其中兩組呈現在第 2 點與第 3 點，其餘資料在附錄中呈現。
2. 這組是存在於 2000~2001 年的雙渦漩系統標記結果，其存續期間約七個月，這組雙渦漩系統主要向西南方移動。

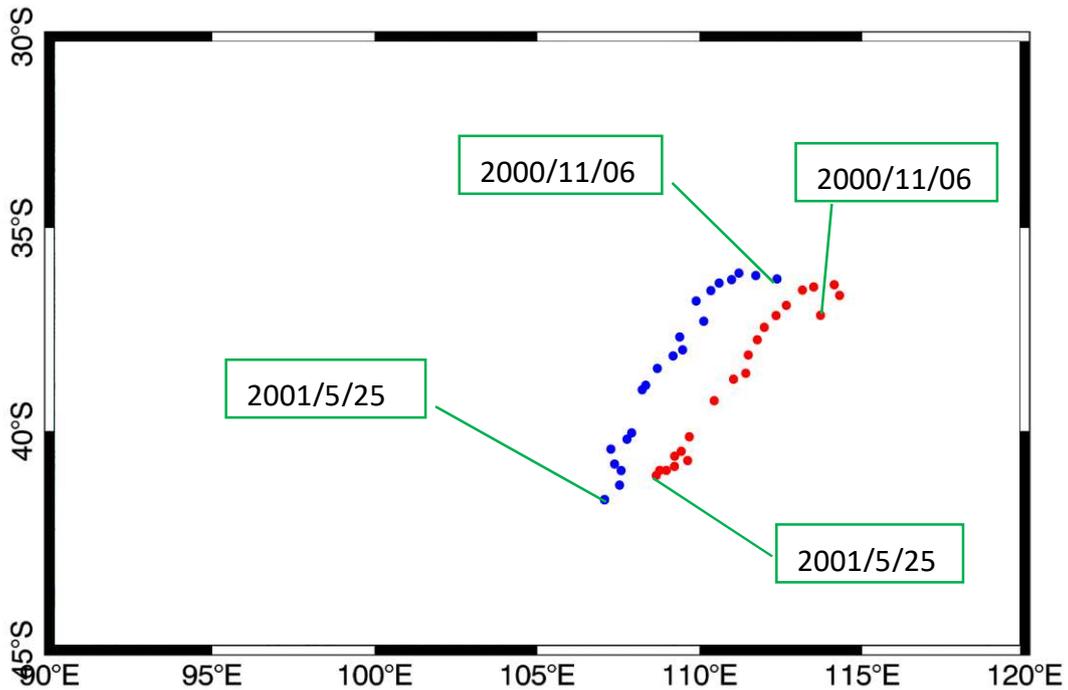


圖 23、2000~2001 年的雙渦漩系統標記軌跡，每隔十天標示其當下位置

3. 這組是存在於 1999~2000 年間的雙渦漩系統標記結果，其存在時間約十個月，雙渦漩系統一開始向西南方移動，隨後方向朝南，之後又往東南方移動，而在最後一個月在原地滯留。

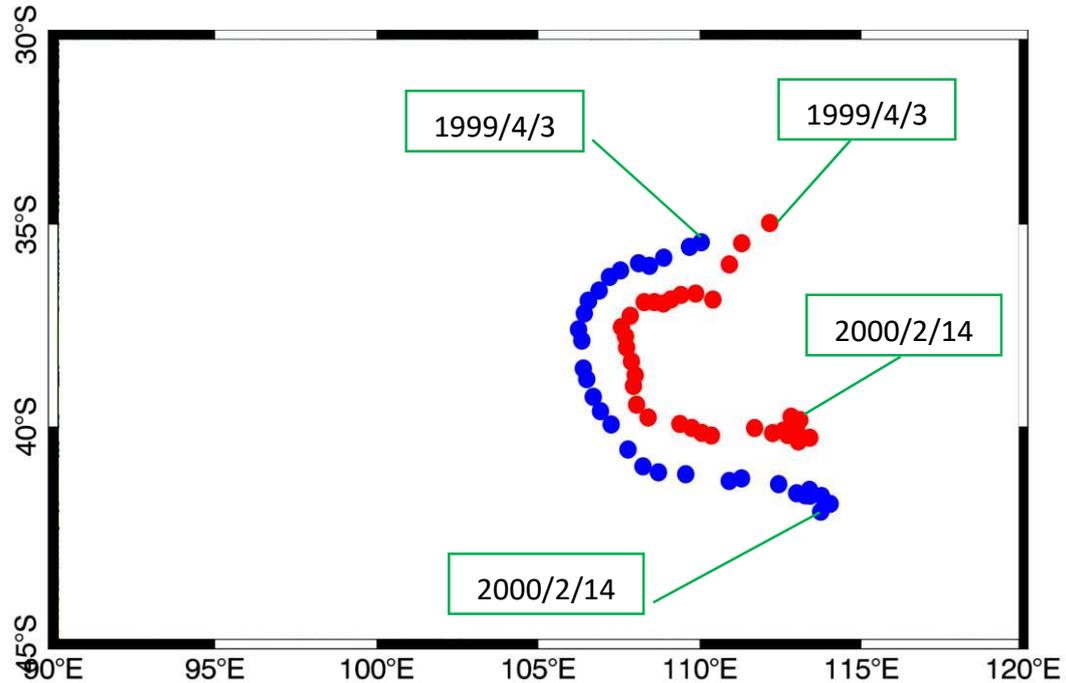


圖 24、1999~2000 年間的雙渦漩系統軌跡

探究二 以實驗模擬觀察雙渦漩系統

一、雙渦漩系統實驗模擬方法

- (一) 我們搭建了一組實驗設備，它是由壓克力水槽、支架、量角器、塑膠板及光碟組成。我們將其組裝為旋轉裝置(支架、量角器、塑膠板)與渦漩產生裝置(光碟)，我們可以從量角器中讀出旋轉角度，能夠穩定的模擬雙渦漩系統。

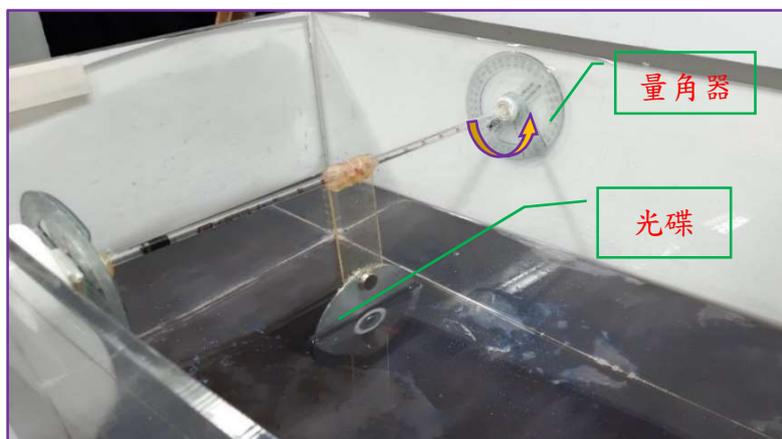


圖 25、雙渦漩系統實驗模擬

(二) 在大部分的實驗中，我們撒上金蔥粉以利進行在水槽中的渦流追蹤(不影響渦流運動的狀況下)，而且我們發現，當渦流行進時並不會擾動水槽底部的亮粉，那麼代表渦流的行進過程，水槽底部並不會對雙渦流系統產生影響，在它生成之後我們模擬的是自由不受干擾的渦流行為。

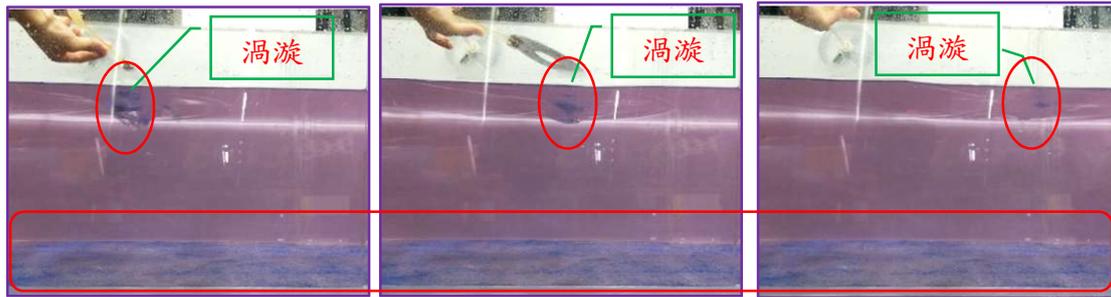


圖 26 下方方框底部亮粉沒有擾動

(三) 本研究使用 Tracker 進行影片分析，藉由量尺測量算出移動距離、雙渦流系統連心距離，並且在固定間隔時間追蹤渦流移動情形。

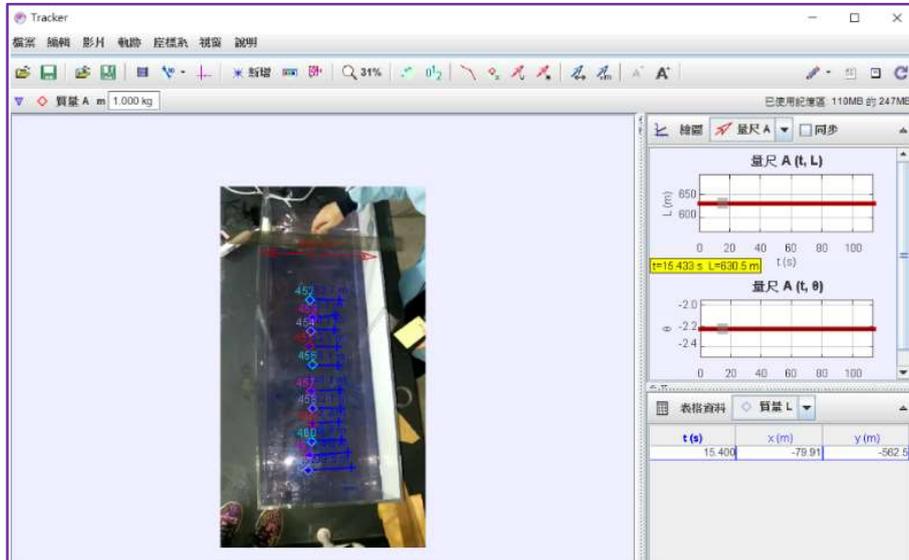


圖 27、以 Tracker 進行影片分析

二、檢視雙渦漩系統的構造:

(一)實驗方法:

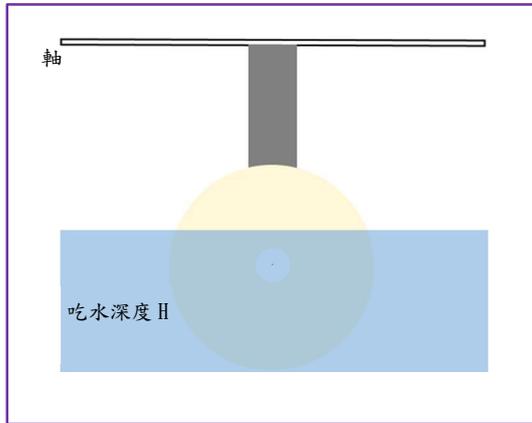


圖 28

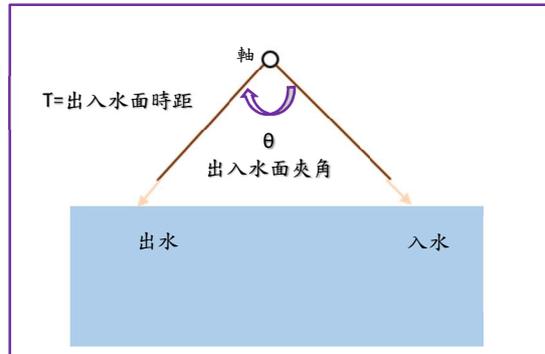


圖 29

經由小規模的試做與調整，我們的實驗主要採用以下參數(在本設備中表現最佳)進行實驗:

1. 吃水深度 $H=8\text{cm}$
2. 出入水面夾角 $\theta=112^\circ$
3. 出入水面時距 $T=2\text{s}$

(二) 實驗流程:

1. 重複進行 5 次實驗，並錄影(俯視與側視雙渦漩系統)。
2. 以 Tracker 分析，測量雙渦漩系統之連心距、渦漩深度與雙渦漩系統移動速度，並且計算平均值。

(三) 實驗結果:

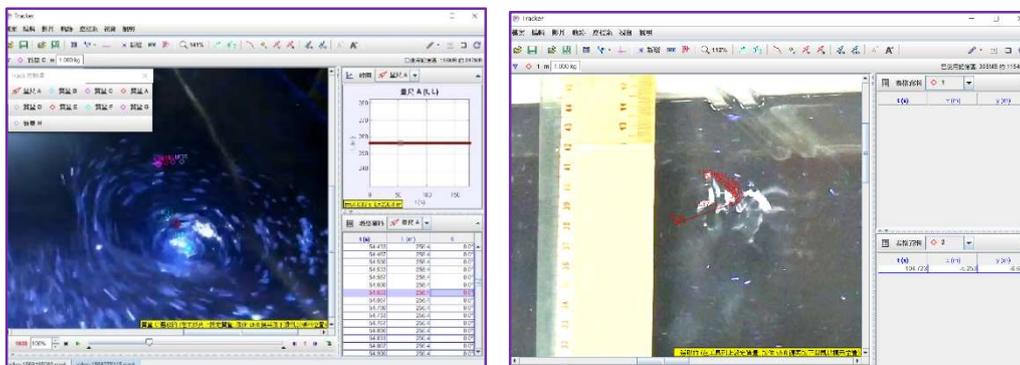


圖 30、tracker 分析雙渦漩的構造

| | 第一次 | 第二次 | 第三次 | 第四次 | 第五次 | 平均 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 連心距(cm) | 10.7 | 11.5 | 11.1 | 11.8 | 12.4 | 11.5 |
| 渦漩深度(cm) | 6.14 | 6.02 | 6.53 | 6.21 | 6.88 | 6.36 |
| 行進速度(cm/s) | 4.8 | 4.6 | 4.5 | 4.8 | 5.0 | 4.7 |

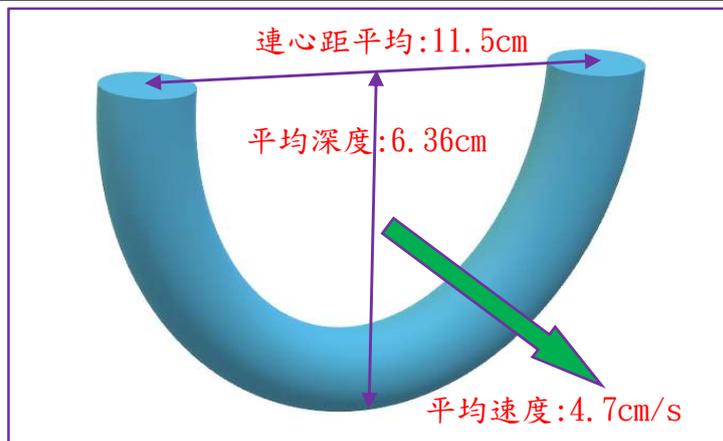


圖 31

(四) 結果分析與推論:

我們模擬雙渦漩系統並且觀察其運動情形，在我們的實驗裝置中，雙渦漩系統可以穩定的往前移動，不受底部影響，所以我們可以藉此實驗裝置模擬雙渦漩系統的能量傳遞情形與使其消散的影響因素。

三、雙渦漩的物質與熱量傳遞:

(一) 實驗方法與流程:

1. 物質傳遞實驗:

- (1)在渦漩生成後馬上在兩渦漩表層滴加墨水，觀察墨水擴散情形。
- (2)以錄影紀錄實驗過程，重複五次實驗。

2. 熱量傳遞實驗:

- (1)設置好實驗裝置，以電湯匙先行在燒杯中加熱，待實驗前將燒杯連同加熱好的水沉入水槽的一側。
- (2)產生雙渦時會有一個渦漩被加熱(夾帶熱水)，以熱像儀錄影紀錄熱量分布的動態影像，重複五次實驗。

(二) 實驗結果:

1. 物質傳遞實驗



圖 32、物質傳遞實驗

比較兩張圖片(節錄自連續過程),我們可以發現,在最初滴加墨水時(左圖),墨水在表層水面雙渦旋系統兩端,但隨著渦旋往前行進的過程,墨水往下游移,並使連通的渦旋管道均有墨水。(右圖)

2. 熱量傳遞實驗

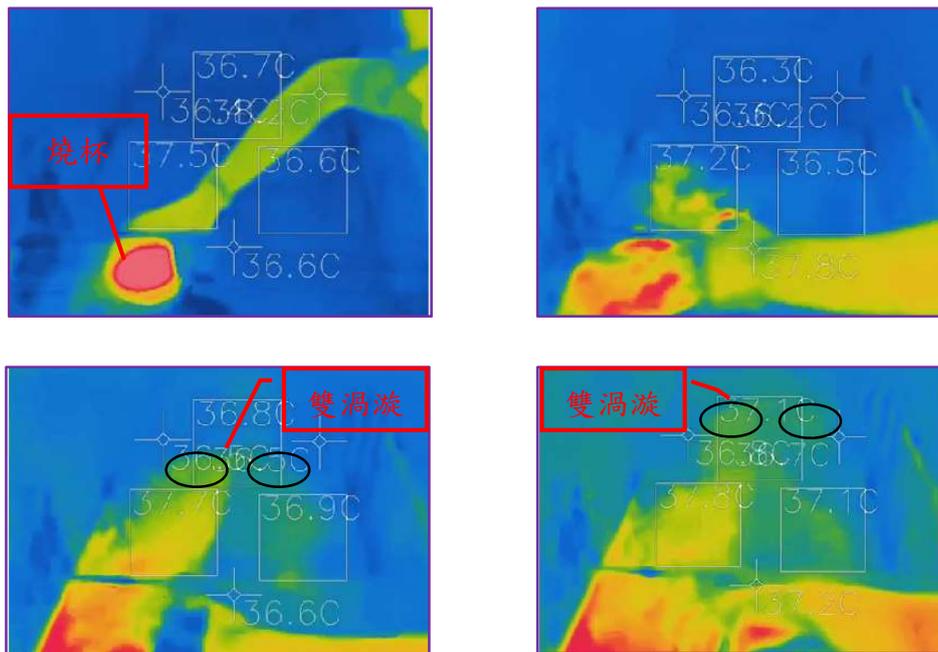


圖 33、熱量傳遞實驗

從四張圖片(節錄自連續過程)中我們可以發現,當我們將裝有熱水的燒杯加入水槽一側,我們可以創造出一個熱區,此時我們製造的雙渦旋系統主要有一個渦旋被加熱,在渦旋往前移動時,較熱的渦旋會將熱量傳遞給另一個,並且從兩條明顯熱軌跡可推知兩渦旋會夾帶熱水往前移動,並且沿途散布熱量。

四、地形作用對於雙渦流的影響:

(一) 實驗方法與流程:

1. 細桿阻礙實驗:

在水槽中央擺放一支細桿，其位置約是雙渦流系統移動時兩漩渦中心連線中央處會經過之處，以錄影紀錄實驗過程，重複五次實驗，觀察雙渦流系統通過細桿之情形。

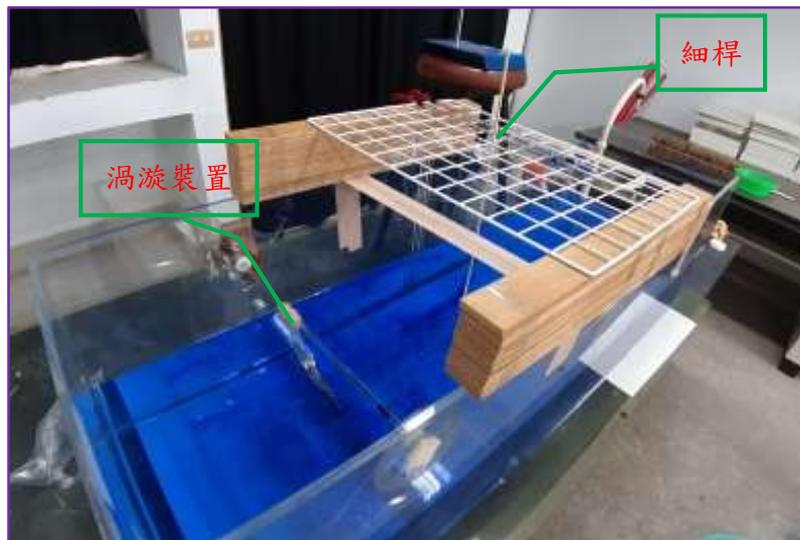


圖 34、細桿阻礙實驗裝置

2. 粗桿阻礙實驗:

在水槽中央擺放口徑較前一個實驗粗的粗桿，其位置約是雙渦流系統移動時兩漩渦中心連線中央處會經過之處，以錄影紀錄實驗過程，重複五次實驗，觀察雙渦流系統通過粗桿之情形。

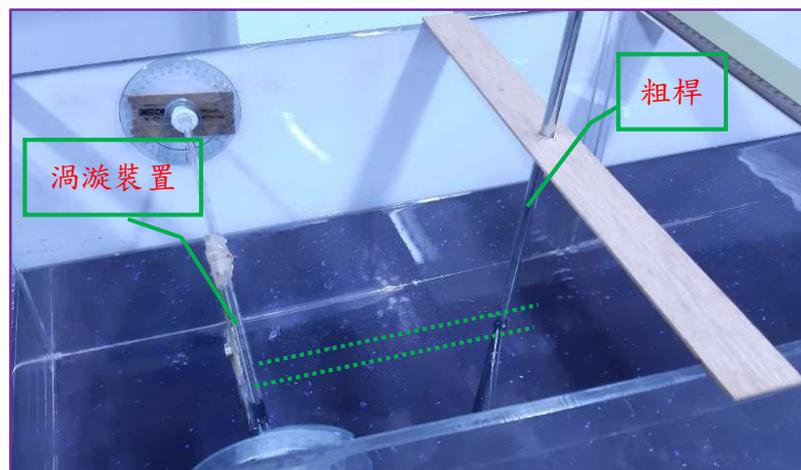


圖 35、粗桿阻礙實驗裝置

3. 擋板阻礙實驗:

將水槽中央的粗桿換成擋板，並調整好設備，以錄影紀錄實驗過程，重複五次實驗，觀察雙渦流系統通過擋板的變化。

4. 地形坡度實驗:

將水槽傾斜擺放(與水平面夾角 14°)，調整各設備，以錄影紀錄實驗過程，重複五次實驗，模擬雙渦流系統由深處移動至淺處的運動情形

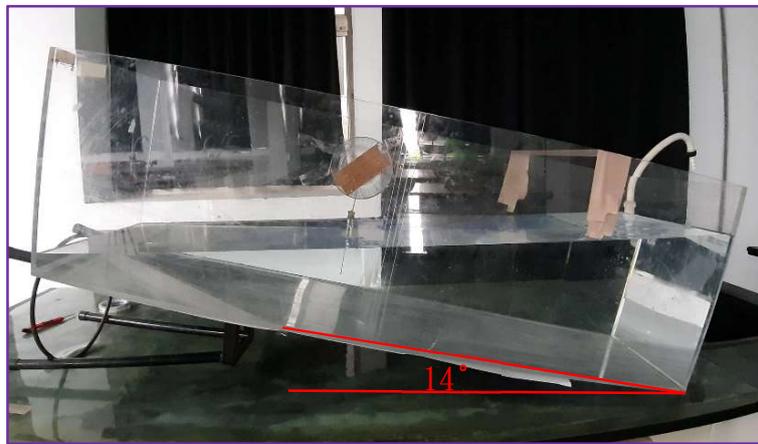


圖 36、地形坡度實驗裝置

(二) 實驗結果:

1. 細桿阻礙實驗:

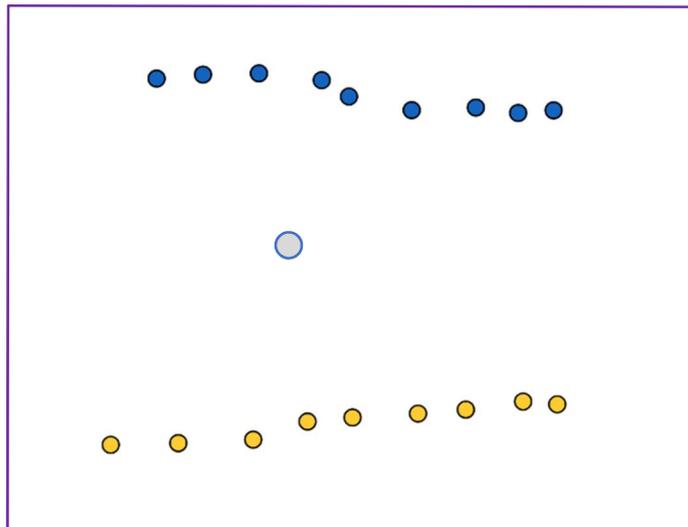


圖 37、細桿阻礙實驗結果

我們將實驗影像以 0.167 秒為間隔標記出雙渦漩系統中心位置，並且在 Tracker 上讀取座標值繪製軌跡圖，可以發現通過極細的桿子後連心距稍微減小，但行進速度幾乎不受影響；另外對於雙渦漩系統滴加墨水觀察，發現雙漩渦通過細桿後，仍能維持雙渦漩系統的結構。

2. 粗桿阻礙實驗:



圖 38、粗桿阻礙實驗分析

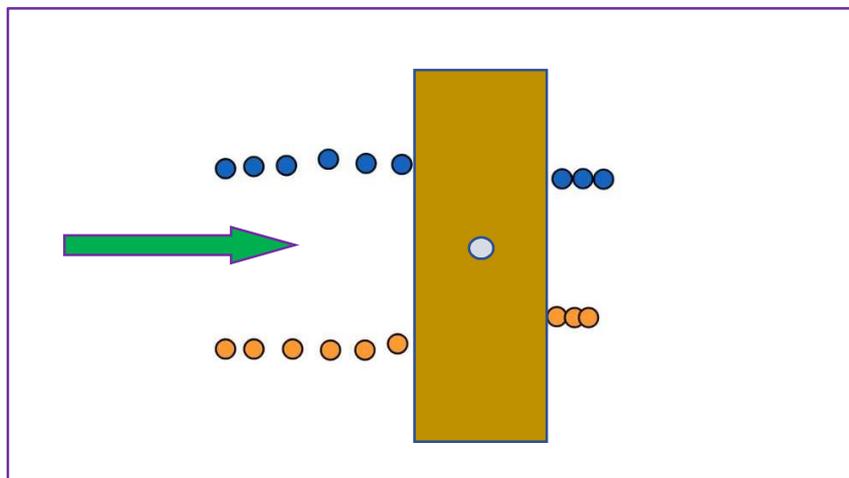


圖 39、粗桿阻礙實驗結果

我們將分析分為撞上粗桿前及撞上粗桿後(因為中間被支撐物遮住)，然後將影像以 0.175 秒為間隔標記出雙渦漩中心位置，並且在 Tracker 上讀取座標值，並將兩個渦漩的軌跡依照座標點出繪圖，我們可以發現通過粗桿後連心距變小(11.71cm→10.47cm)，而且點更密集，代表行進速度變慢。

3. 擋板阻礙實驗:

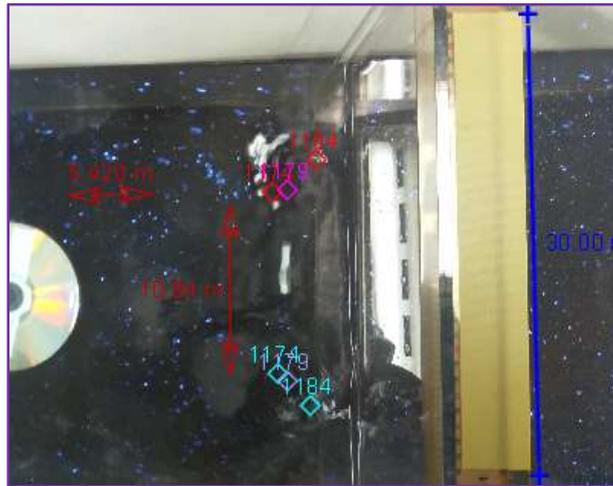


圖 40、擋板阻礙實驗分析

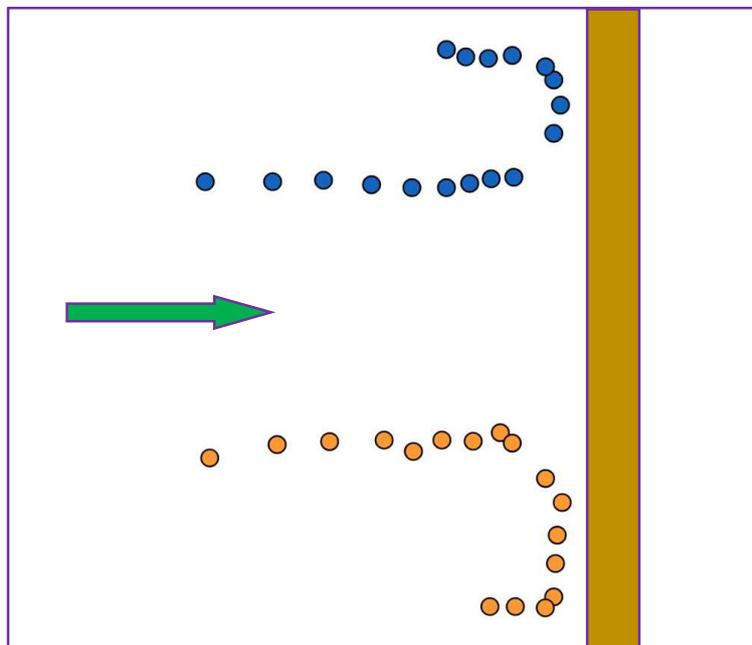


圖 41、擋板阻礙實驗結果

我們一樣點出各點座標並繪圖，擋板實驗中當雙渦流系統撞上擋板後兩者逐漸分開，在此同時，我們發現實驗裝置底部亮粉被擾動，表示兩渦流在分開的時候，渦流擾動深度變深。渦流在分開後，沿著實驗裝置邊緣回退，如附圖 41。

4. 地形坡度實驗:

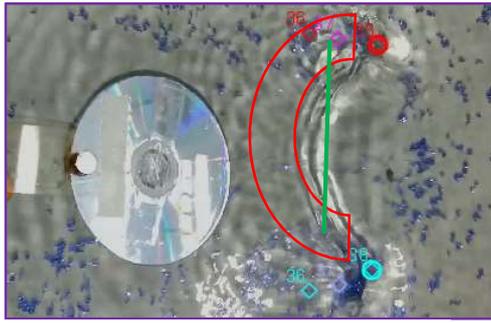


圖 42、受底部影響而傾斜之雙渦漩系

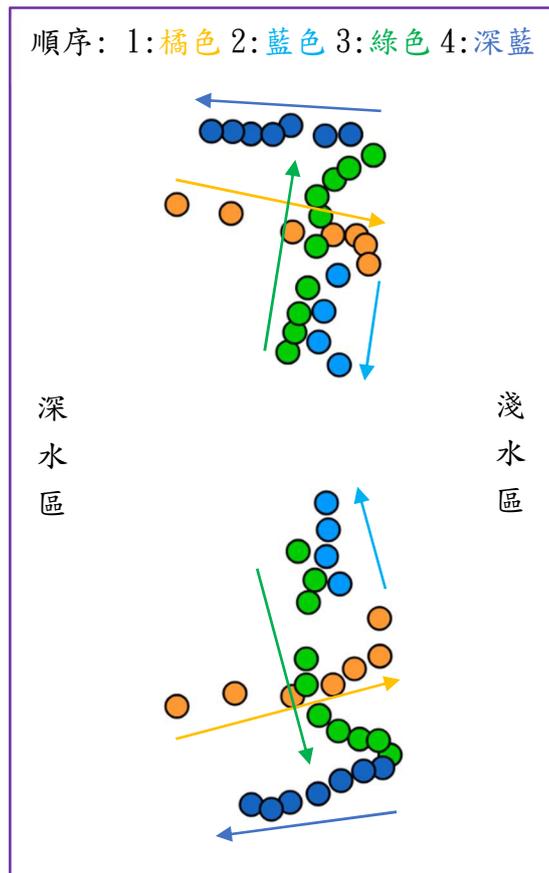


圖 43、斜坡實驗(由深入淺)結果

我們讓雙渦漩系統由深處進入淺水區，並且一一標記行進座標，按照不同顏色及箭頭方向依序移動，這組較為複雜所以本研究每隔六分之一秒標記一次，可以觀察到雙渦漩系統一開始約略直線前進(橘色箭頭)，隨著水深變淺，前進速度變慢，而後進入更淺的區域，兩渦漩會沿著等深線開始靠近(淺藍色箭頭)，而後分開(綠色箭頭)，最後沿著實驗裝置邊界往後退(深藍色箭頭)。

陸、討論

一、衛星遙測分析與實驗模擬結果結合:

(一) 東經 140°~180°，南緯 30°~50°:

1. 我們對 NOAA 提供的 seabed depth 繪圖，先標記出雙渦漩系統活動範圍的地形圖，靠近沿岸的地區為較淺的環境。我們分析了四組雙渦漩系統的移動路徑，發現它們多在澳洲東南方發展，可能在向南移動時受到塔斯馬尼亞南部隆起(圖 44、A 處)阻擋轉向東移動，或是受東澳洋流分支轉向的影響。

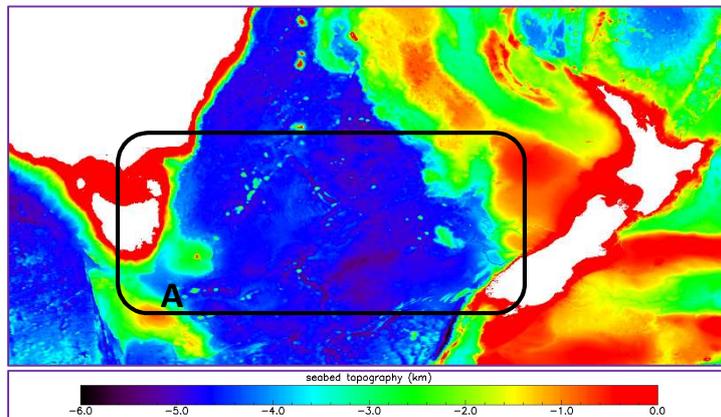


圖 44、紐澳之間海底地形圖

2. 深入分析 2010.6 月開始發展的這組雙渦漩系統(圖 22)，它在穩定往前移動狀態，速度約 17cm/s，遠高於西北太平洋往西移動的單渦漩移動速度(8.3cm/s)。當雙渦漩系統接近紐西蘭西側較淺的區域時，行進速度會變慢(點更密集)，並在水深約 1.5 公里處，雙渦漩開始分開，北側的渦漩一開始先沿著大陸坡邊緣往西北方移動，約四百多公里後，進入洋底盆地範圍持續向西北移動約兩百多公里；南側的渦漩則是順著原路徑南方退回，其退回路徑與原路徑蜿蜒相似。
3. 參考我們的地形坡度實驗結果，我們推測當雙渦漩系統進入水深約 3 公里的海域，移動速度顯著降低的原因是因為受海床的影響，表示雙渦漩系統下方相連結構的影響範圍可達 3 公里深。

4. 參考我們的擋板阻礙實驗與地形坡度實驗的結果，我們發現(圖 41、圖 43)，由於雙渦流系統的旋轉方向兩者相反，當我們面相渦流行進方向觀察，左側的渦流為反時針旋轉，而右側的渦流為順時針旋轉，所以當雙渦流系統移動到邊界遭受阻礙時，中間向前流動的海流會往前推向邊界，而後向兩側流動，此力量將會推動兩個渦流分離。分析圖 45 中雙渦流移進淺水區並受海床阻擋而退回的路徑，我們推測雙渦流會分開與退回的可能原因有：
- (1) 遵循反射定律的結果。
 - (2) 雙渦流系統相連結構底部帶動的水流受到海床阻礙向兩側分流，並將渦流向兩側帶開。
5. 當渦流分開後的路徑，可能受邊界地形(如衛星資料分析中的北側渦流)或受地形反射作用與海流影響(如南側渦流)，而持續移動。

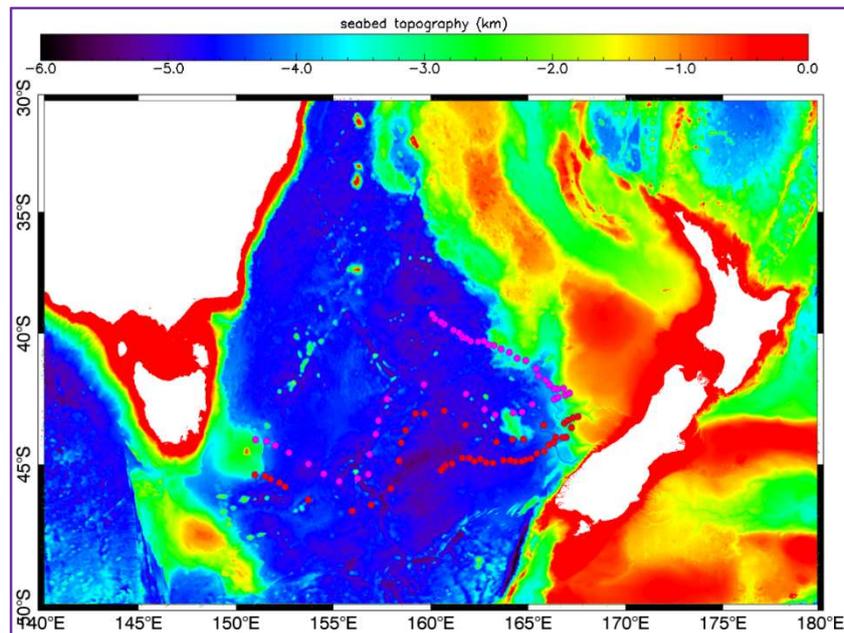


圖 45、地形對於海洋雙渦流系統之影響

6. 我們從衛星資料中發現，分開的兩渦流約同時消失，表示當雙渦流系統因地形阻礙而分離時，兩個渦流分到的能量大略相同。

(二) 東經 90°~120°，南緯 30°~45°:

1. 這個區域存在的四組雙渦旋系統，相對於紐澳之間的雙渦旋系統，存在於較開放的海域(圖 46)，比較不受地形影響。

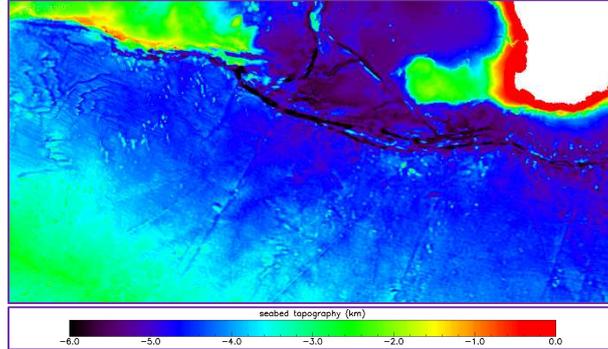


圖 46、澳西邊海底地形圖

2. 圖 24 中的海洋雙渦旋，其在 SST 圖上的呈現如圖 47，渦旋 A 為順時針旋轉，渦旋 B 為逆時針旋轉，受艾克曼效應影響，A 為冷渦，B 為暖渦，我們從衛星資料也可以看到 A 漩渦形成時，中心水位較 B 渦旋低，水溫也較 B 渦旋低。
3. 當兩渦旋開始往高緯度移動時，會將溫暖的海水往高緯度帶，如同我們的熱量傳遞實驗(圖 33)。

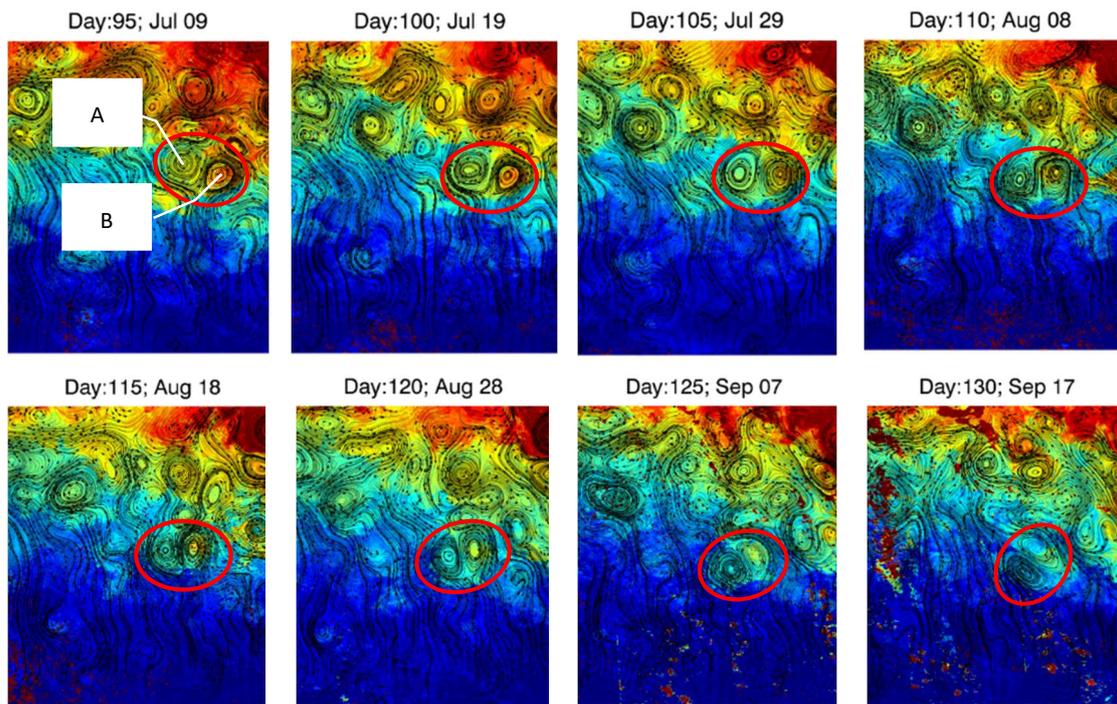


圖 47、海洋雙渦旋系統能量傳遞

4. 圖 23 中的雙渦流在往高緯度移動的過程，也同樣呈現相同的效果，其影像放在附錄的連結中。
5. 根據我們的物質傳遞實驗與熱量傳遞實驗可知，當雙渦流系統在移動時，會攜帶物質與熱量前進，此對海洋汙染、生態與緯度間熱量的交流，均會產生影響。

二、實驗模擬中的雙渦旋系統:

(一) 遇到阻礙物之移動與消散:

我們從細桿與粗桿阻礙實驗中發現，當雙渦流系統通過桿子時，兩渦流間的連結會先被斷開，但通過桿子後馬上又會連通起來，表示當阻擋物相對於渦流尺度不大時(細桿約佔連心距的 1/50，粗桿約佔連心距的 1/15)，渦流雖會暫時被斷開，但是渦流的能量與慣性還是會使它們再次連結起來，不過由於結構曾被破壞，使其能量減弱，所以渦流連心距會下降且移動速度變慢。

(二) 地形對雙渦流系統的影響:

依據功能原理可以得到下列式子:

$$E_{k原}(原動能) - W_f(摩擦做功) = E_{k末}(末動能)$$

如果不考慮其他因素，當雙渦流系統行經的水域海床深度愈來愈淺，海床給移動水體的摩擦力將會愈來愈大，其會使渦流運動速度減慢，由於摩擦力會使渦流的下方，即相連的中心處移動較淺處慢，就像折彎一條繩子一樣，如果在總長度不變的情形下，拉扯繩子中點，必然會使兩端彼此靠近。當表層兩渦流靠近到一定程度，由於其旋轉方向相反，因此會將彼此推開。

三、雙渦流系統下方有連結之證據:

- (一) 我們很難有直接觀測資料證明雙渦旋系統下方有連結，因此我們經由衛星資料分析，佐以實驗模擬，發現我們實驗所模擬出的底部相連雙渦流系統受阻礙時其移動速度與分離路徑，與衛星資料觀測相符。
- (二) 本研究分析區域(140°~180°E,30°~50°S 及 90°~120°E, 30°~45°S)中，紐澳之間的單渦旋好發區位於 150°~160°E,30°~40°S，在此區域單渦旋的半徑有大有小，最大的渦流半徑約有 130~150km，而在這個範圍之外，渦流半徑會較小，約 40~70km。我們分析八組雙渦流系統在其穩定移動時期，連心距約 80~110km，2010 年紐澳之間的雙渦流系統，我們使用 SNAP 的量尺測距，一開始穩定移動時，雙渦流連心距約介於 95~110km，而在轉彎時連心距可達 145km，隨後又恢復穩定的 95~110km 之間，而第二個轉折也是如此；在 1999 年澳洲西邊的那組雙渦流系統在穩定移動中維持 90~110km 的連心距，而 2000 年澳洲西邊產生的雙渦流系統在穩定移動中維持 80~95km 的連心距，已知單一渦旋半徑一定小於 1/2 連心距，而且渦流一起穩定移動時，連心距大致都維持，沒有特別的變化，甚至能一同轉向，所以我們推測雙渦流系統下方有相連結。

柒、結論

一、衛星遙測資料分析:

本研究透過分析 SST 及 SLA 搭配流線的資料觀察海洋雙渦漩系統:

(一) 東經 140°~180°，南緯 30°~50°:

在紐澳之間的雙渦漩系統不但向東方傳遞，而且在碰上地形邊界時會分離並退回，之後各自消散，與我們的實驗模擬結果相似。

(二) 東經 90°~120°，南緯 30°~45°:

在澳洲西邊的雙渦漩系統，屬於開闊環境下的移動，我們觀察到雙渦漩系統將溫暖的海水往高緯度帶。

二、實驗中模擬雙渦漩系統的研究結果，分成以下三個部分:

(一) 雙渦漩系統結構的觀測:

我們測量穩定雙渦漩系統結構，兩渦漩中心連線平均距離為 11.5 cm、而渦漩平均深度為 6.36 cm、行進速度平均為 4.766 cm/s。

(二) 物質與熱量傳遞的觀測:

雙渦漩系統會互相傳遞物質與熱量，以及攜帶物質與熱量前進。

(三) 阻礙物與地形對於雙渦漩系統的影響:

1. 雙渦漩系統通過桿子時會斷開，之後又馬上連通，但是因為能量有減弱，因此雙渦漩的連心距會縮短，且行進速度變慢。
2. 當雙渦漩系統遇到大型阻礙物即擋板時，雙渦漩則會順著邊界彼此分開並退行。
3. 當雙渦漩系統往水深愈來愈淺的水域移動時，渦漩垂直結構會傾斜，下方連結處移動較慢，雙渦漩會平行等深線先靠近再分開，而後沿著邊界退行。

捌、參考資料及其他

- 一、Cowern, D. (2014, November 23). Crazy pool vortex. Retrieved from <https://youtu.be/pnbJEg9r1o8>
- 二、Chelton, D. B., Schlax, M. G., & Samelson, R. M. (2011). Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 91(2), 167-216. [doi:10.1016/j.pocean.2011.01.002](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.01.002)
- 三、Hughes, C. W., & Miller, P. I. (2017). Rapid water transport by long-lasting modon eddy pairs in the southern midlatitude oceans. *Geophysical Research Letters*, 44, 12,375–12,384. [doi:10.1002/2017GL075198](https://doi.org/10.1002/2017GL075198)
- 四、Hesthaven, J. S., J. P. Lynov, and J. Nycander (1993), Dynamics of nonstationary dipole vortices, *Phys. Fluids A*, 5(3), 622–629. [doi:10.1063/1.858648](https://doi.org/10.1063/1.858648)
Helmholtz's theorems (n.d.). In Wikipedia. Retrieved June 26, 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz%27s_theorems
- 五、廖允強（2010）。利用表面浮球及衛星高度計觀測北南海反氣旋渦流。國立中山大學海洋生物科技暨資源學系研究所碩士論文，高雄市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/84spyg>
- 六、Liu, Y., Dong, C., Guan, Y., Chen, D., McWilliams, J., & Nencioli, F. (2012). Eddy analysis in the subtropical zonal band of the North Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 68, 54-67. [doi:10.1016/j.dsr.2012.06.001](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.06.001)
- 七、Nycander, J. (1992), Refutation of stability proofs for dipole vortices, *Phys. Fluids A*, 4, 467–476, doi:10.1063/1.858319. [doi:10.1063/1.858319](https://doi.org/10.1063/1.858319)
- 八、鄭宜婷（2017）。全球超級颱風所引起的中尺度氣旋渦。國立中山大學海洋科學系研究所碩士論文，高雄市。取自 <https://hdl.handle.net/11296/79w2f4>
- 九、Zhang, Z., Tian, J., Qiu, B., Zhao, W., Chang, P., Wu, D., & Wan, X. (2016). Observed 3D structure, generation, and dissipation of oceanic mesoscale eddies in the South China Sea. *Scientific reports*. [doi: 10.1038/srep24349](https://doi.org/10.1038/srep24349)
- 十、Wyrтки, K., Magaard, L., & Hager, J. (1976). Eddy energy in the oceans. *Journal of Geophysical Research*, 81(15), 2641-2646. [doi/abs/10.1029/JC081i015p02641](https://doi.org/10.1029/JC081i015p02641)

玖、附錄

一、本研究整理雙渦流系統的衛星遙測資料，分別為 SST 及 SLA，將其繪製成圖片、動圖以及影片，歸類後儲存於雲端硬碟，可由以下網址或 QRcode 檢視。

https://drive.google.com/drive/folders/1Su9QQZjaOiFoP_I6ijI55dCrB4tzYNbo?fbclid=IwAR2NJRJUZ8dekHahezGYXXDV2XuUVyyHbSVhA6-YzZ8GAzXPbZpbYqQR_XXI



圖 48、雲端 QRcode

二、未來展望:本研究目前已經探討雙渦流系統的移動與消散，觀察兩者相伴移動並且將物質熱量帶往不同地區，而且我們以實驗模擬出類似的結果，正以此為基礎繼續深入研究:

(一) 目前正在分析地轉流遙測數據，探討海流條件與雙渦流系統移動的關係。

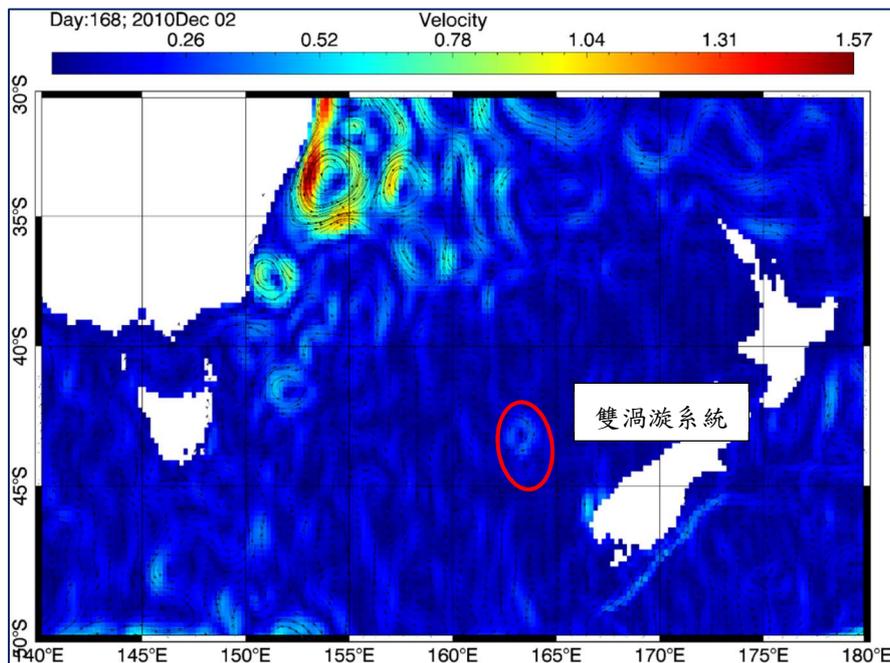


圖 49、海流流場

(二) 海洋雙渦漩系統成因之推論:

1. 對於特定海流遇到海底山或是岸邊岬角，因地形因素產生配對的渦旋。
2. 類似於我們實驗模擬的光碟裝置，若有一道快速的海流與周圍水體產生流切，可能產生雙渦漩系統。

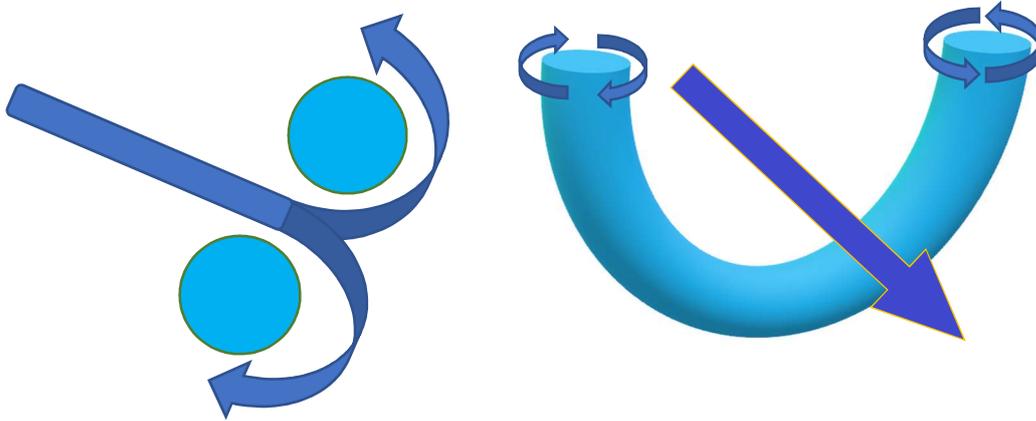


圖 50、成因示意圖

目前正針對雙渦漩可能的形成原因進行建模，藉由普林斯頓海洋模型 (POM) 的相關方式進行數值模擬。

- (三) 未來將引入水色照相關於葉綠素的資訊，對於雙渦漩系統進行深入探究。

【評語】 051909

本作品使用衛星影像分析加上設計水箱實驗來了解雙渦漩的連結與相互作用。實驗製造會移動之雙渦旋系統，並在其移動路徑上設置數種障礙，觀察並解釋各式障礙對雙渦旋系統移動之影響，再以實驗結果討論影響澳洲與紐西蘭間海域雙渦旋系統移動路徑變化之因素。實驗前對相關文獻與資訊有進行收集與瞭解，結合水工實驗結果與自然現象之衛星觀測討論則是本作品之特色。建議對實驗設計中，產生雙渦旋系統之機制再詳細說明。另可於雙渦旋系統移動圖上加上等深線，利於討論地形對移動路徑之影響。關於地形坡度對雙渦旋系統移動路徑之影響，實驗結果與自然現況似不完全符合，可深入討論其原因。摘要可以加強主要研究量化成果之呈現，實驗主要以結果主要以定性討論，比較難以呈現水工實驗與衛星觀測分析結果是否相符，建議可以加強量化之分析與討論。

摘要

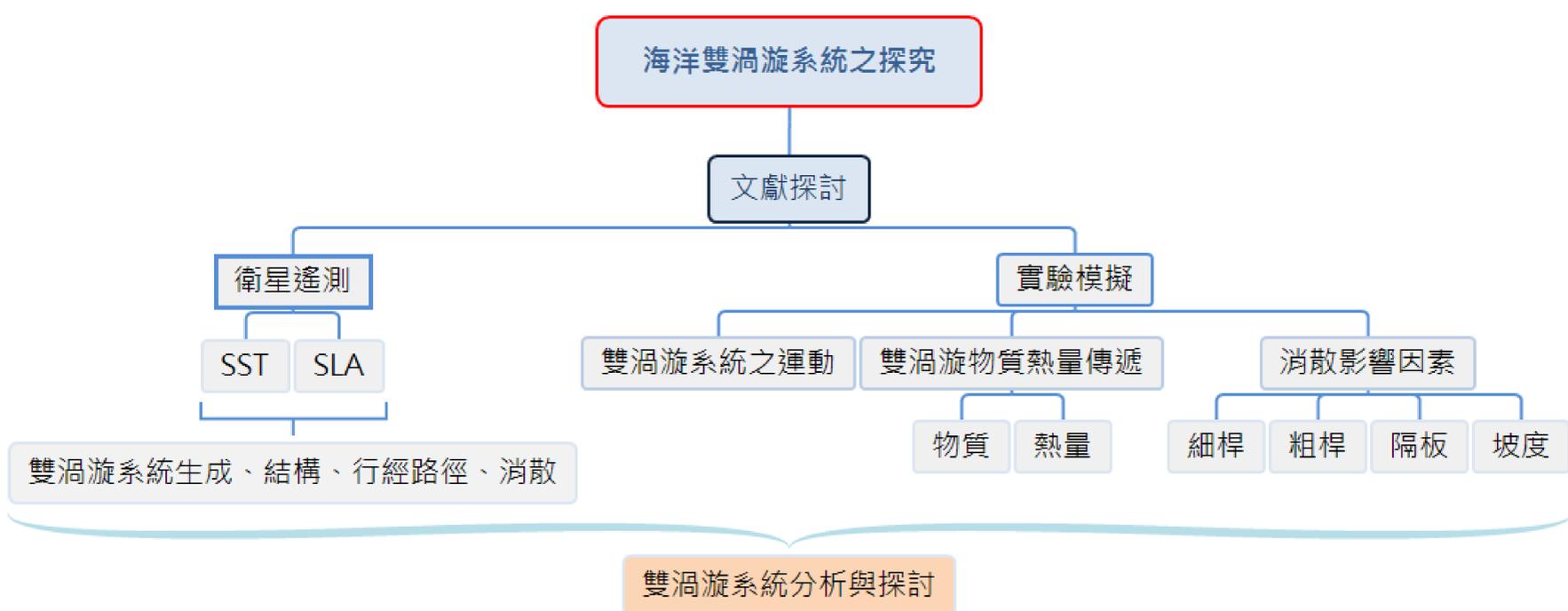
本研究透過分析海表面溫度及衛星測高等遙測資料、觀察海洋雙渦流系統，並且以U、V兩方向流速數據繪製流線進行比對，最後輔以模擬實驗，驗證海洋雙渦流系統是一對底部有相連的渦流。

我們追蹤紐澳之間以及澳洲西邊的九組雙渦流系統(其中一組為本研究新發現)，發現雙渦流系統在穩定往前移動時期，其連心距約介於80~110km，當雙渦流系統進入海床深度小於3公里處，移動速度會變慢，並出現與模擬實驗類似的沿著地形邊界分開的情形。我們也發現雙渦流系統在淺水區可能受地形阻攔，而呈逆時針旋轉，當其中一個渦流與雙渦流下方連結處脫離海床影響時，可拉著另一個渦流快速前進，最後以穩定連心距往前移動。另外從我們的模擬實驗，我們推測雙渦流系統還能將溫暖的海水帶往高緯度。

研究目的

- 一、分析衛星資料以確認、了解雙渦流系統之生成、結構、行經路徑與消散
- 二、透過實驗了解雙渦流系統的構造。
- 三、透過實驗了解雙渦流系統的物質與熱量傳遞情形。
- 四、透過實驗了解雙渦流系統行進與消散的影響因素。

研究過程



研究方法與結果

探究一 以衛星遙測資料分析觀察海洋雙渦流系統

衛星遙測數據來自IMOS提供的澳洲及紐西蘭的海域相關資料。

一、SST(sea surface temperatures, °C):海水的表面溫度。

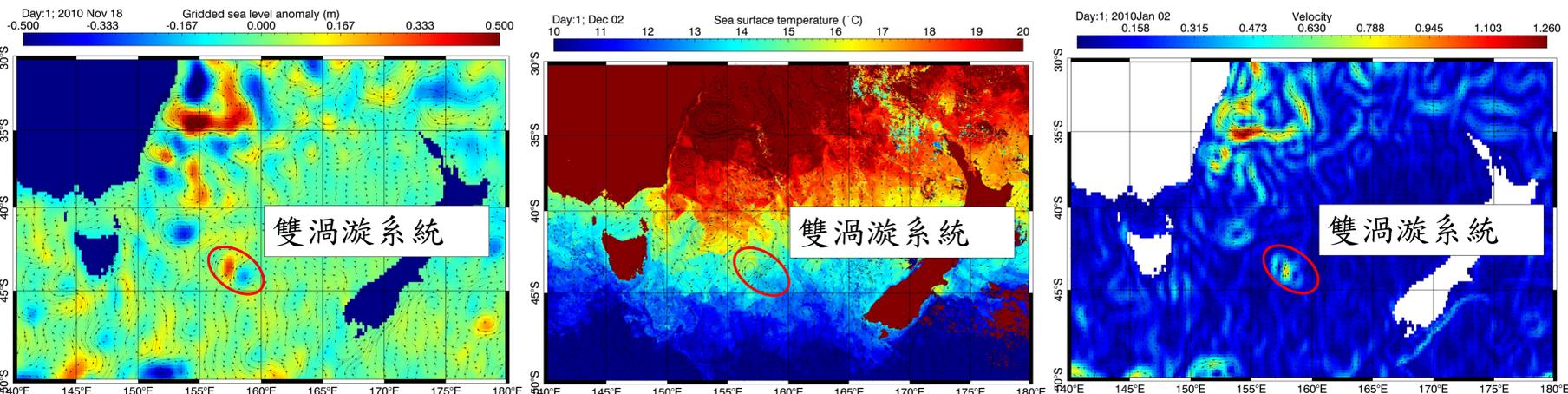
本研究選用SST資料是單傳感器多衛星的SSTfnd產品，使用AVHRR儀器對所有可用的NOAA繞極軌道衛星的觀測結果得出，並且以0.02deg x 0.02deg 圓柱等距投影圖的形式提供。

二、SLA(sea level anomalies, m):海平面高度異常。

本研究選用SLA資料是澳大拉西亞地區的網格化海平面異常，其繪製經過偏移，及去平均值內插。

三、UCUR:向東為正的東西向地轉流流速。

四、VCUR:向北為正的南北向地轉流流速。



五、使用IDL軟體讀取資料繪製成SLA圖、SST圖、geostrophic currents圖(地圖採用麥卡托投影)，並將連續圖片輸出成.gif格式

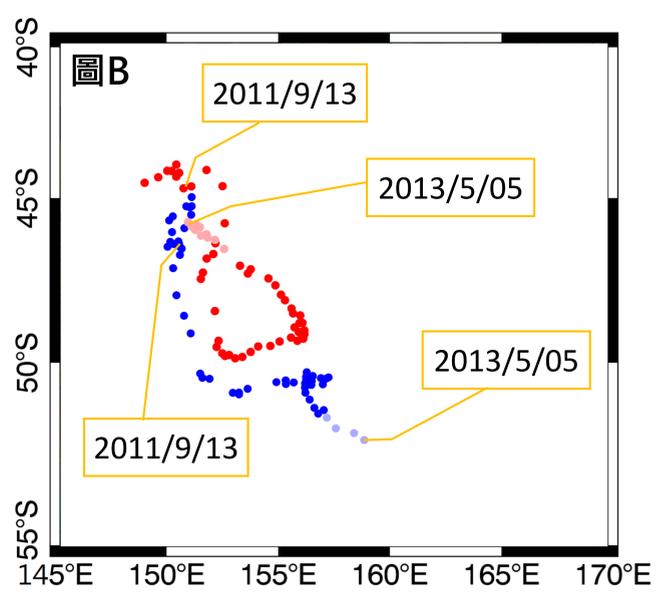
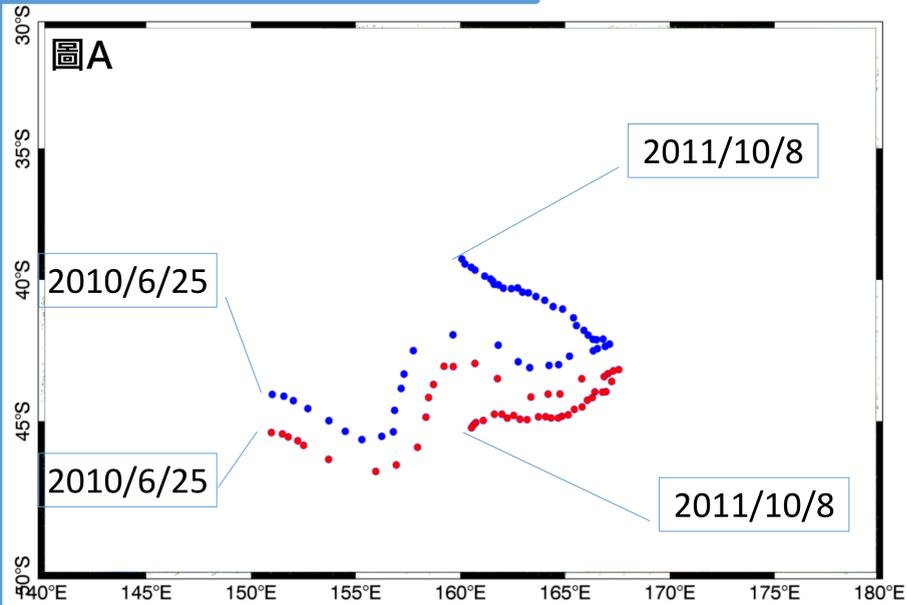
六、八組數據起始年份分別為2002、2003、2006、2010(前四組資料東經140°~180°，南緯30°~50°)
1999、2000、2001、2006(後四組資料東經90°~120°，南緯30°~45°)

七、本研究判斷海洋渦流的定義:

(一)流線所呈現的樣貌近似橢圓或圓形。

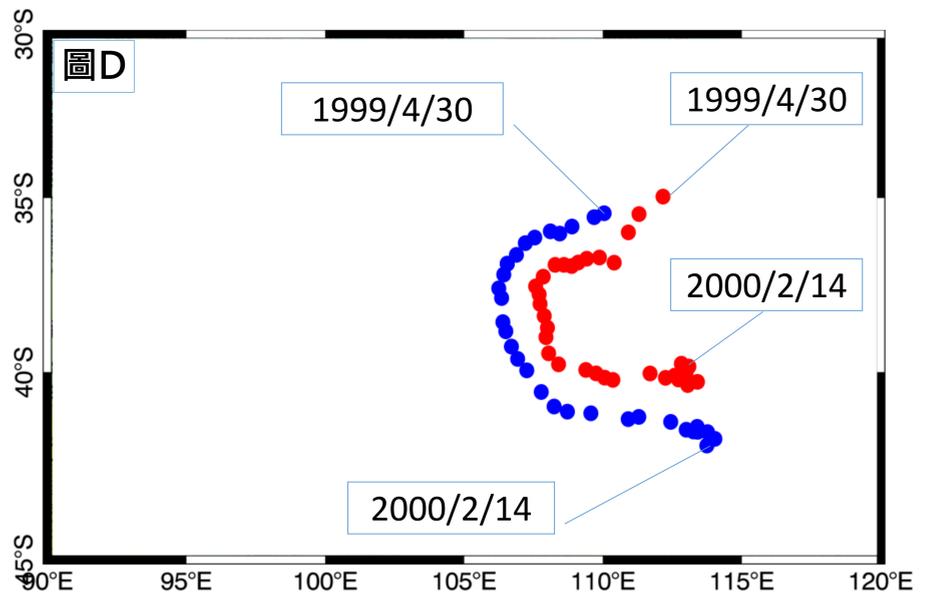
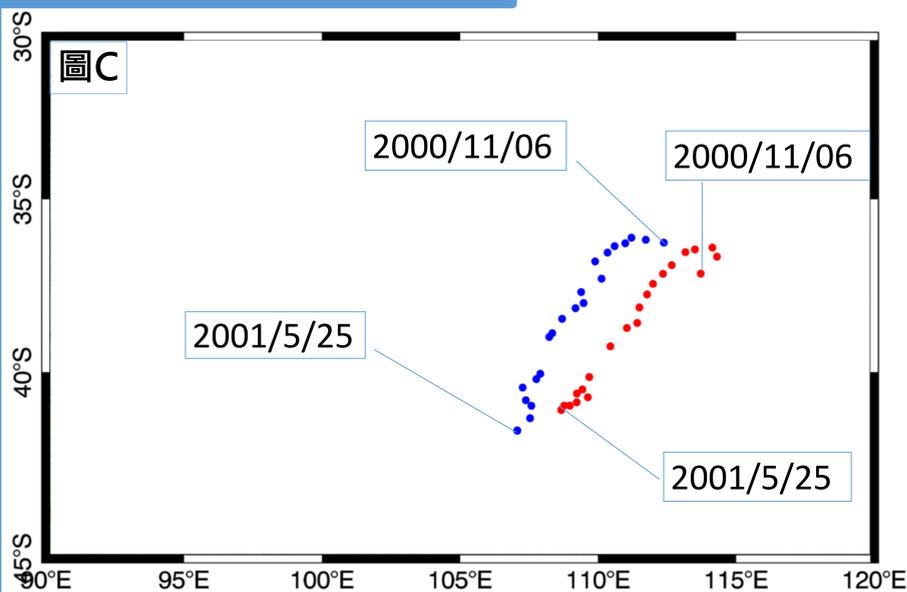
(二)渦流中心定義為該封閉流線內異常值最高或最低的點。

東經140°~180°，南緯30°~50°:



- 一、圖A:2010~2011間出現的雙渦旋系統(每隔十天標示其位置)，這組雙渦旋系統存續時間長、能明顯辨別，並且由西邊向東邊移動。
- 二、圖B:此為我們自己發現標記的一組雙渦旋系統，一開始兩渦互相打轉，而後彼此一同向東南方移動，接著分離。(向高緯移動者超出圖幅)

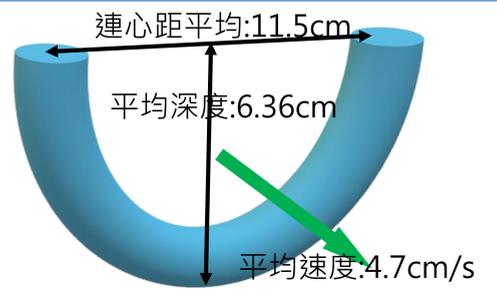
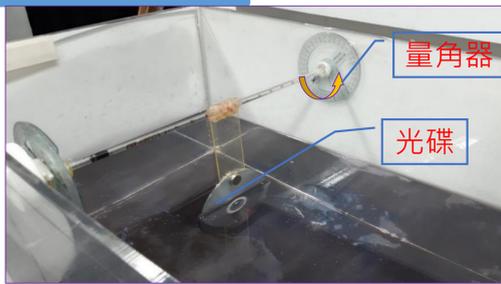
東經90°~120°，南緯30°~45°:



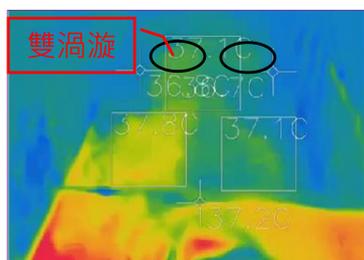
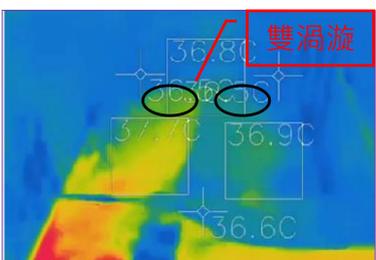
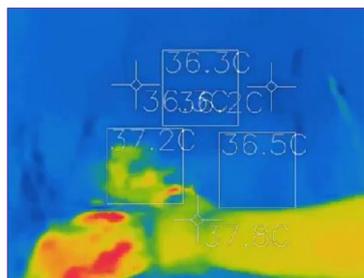
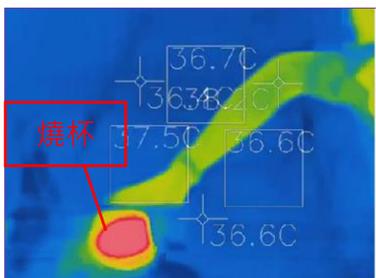
- 三、圖C:2000~2001年的雙渦旋系統標記結果，其存續期間約七個月，這組雙渦旋系統主要向西南方移動。
- 四、圖D:1999~2000年間的雙渦旋系統標記結果，其存在時間約十個月，雙渦旋系統一開始向西南方移動，隨後方向朝南，之後又往東南方移動，而在最後一個月在原地滯留。

探究二 以實驗模擬觀察海洋雙渦旋系統

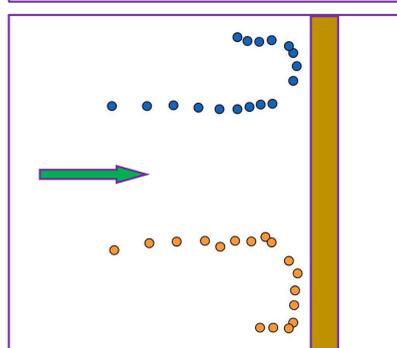
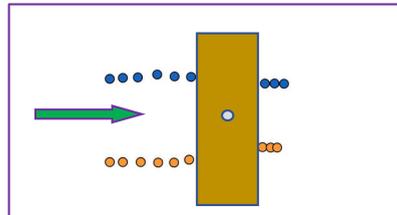
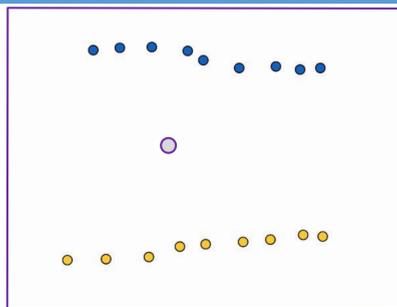
檢視雙渦旋系統的構造:



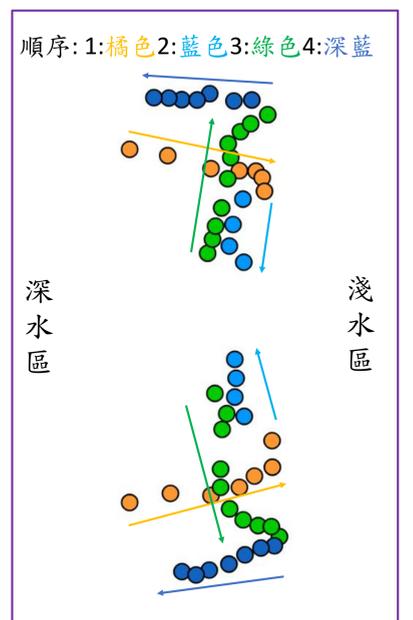
雙渦旋的物質與熱量傳遞:



地形作用對於雙渦旋的影響:



雙渦旋系統模擬中，觀察到與遙測資料分析相類似的運動情形以及能量傳遞的狀況



討 論

一、參考地形坡度實驗結果，我們推測當雙渦流系統進入水深約3公里的海域，移動速度顯著降低的原因可能是受海床的影響，參考我們的模擬實驗結果，我們推測雙渦流系統下方相連結構的影響範圍可達3公里深。

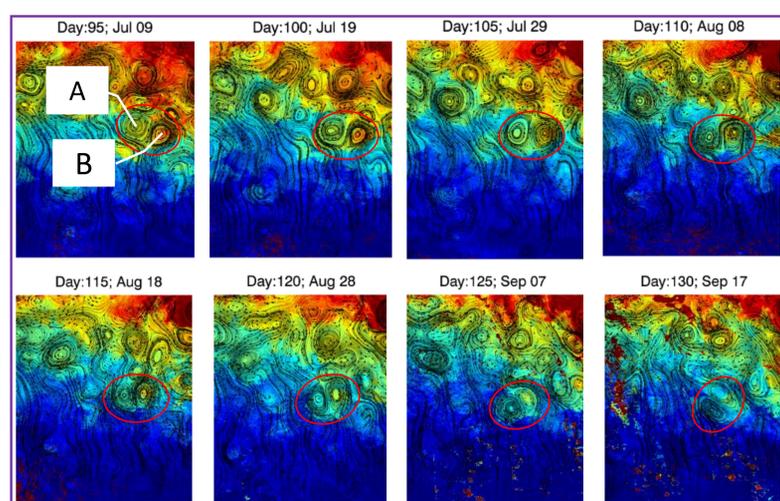
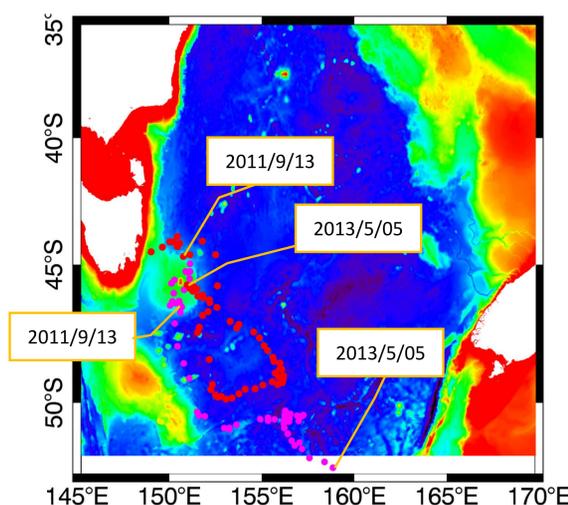
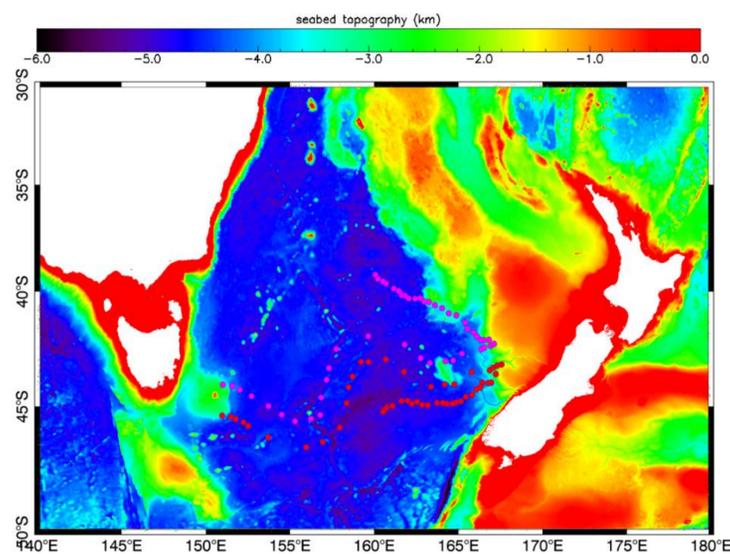
推測雙渦流會分開與退回的可能原因有：

(1) 遵循反射定律的結果。

(2) 雙渦流系統相連結構底部帶動的水流受到海床阻礙向兩側分流，並將渦流向兩側帶開。

二、經由這組我們所發現的雙渦流系統，可觀察到當雙渦流系統在淺水區生成並移動時，可能受海床摩擦力與海底地形影響而呈逆時針旋轉，當其中一個渦流與雙渦流下方連結處脫離海床影響時，可拉著另一個渦流快速前進，最後以穩定連心距往前移動。

三、渦流A為順時針旋轉的冷渦，渦流B為逆時針旋轉的暖渦，當兩渦流開始往高緯度移動時，會將溫暖的海水往高緯度帶，如同我們的熱量傳遞實驗。



四、實驗所模擬底部相連雙渦流系統受阻礙時其移動速度與分離路徑，與衛星資料觀測相符。
五、本研究分析區域中，紐澳之間的單渦旋好發區在 $150^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{S}$ ，在此區域單渦旋最大的渦旋半徑約有 $130\sim 150\text{km}$ ，這個範圍之外渦旋半徑較小，約 $40\sim 70\text{km}$ 。雙渦流系統在其穩定移動時期，連心距約介於 $80\sim 110\text{km}$ ，而且渦流一起穩定移動時，連心距大致都維持，沒有特別的變化，甚至能一同轉向，所以我們推測雙渦流系統下方有相連結。

結 論

一、衛星遙測資料分析：

本研究透過分析SST及SLA搭配流線及geostrophic currents的資料觀察海洋雙渦流系統：

(一) 東經 $140^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ，南緯 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ：

1. 在紐澳之間的雙渦流系統不但向東方傳遞，而且在碰上地形邊界時會分離並退回，之後各自消散，與我們的實驗模擬結果相似。
2. 我們自己發現一組雙渦流系統，生成時因海底地形使其呈逆時針旋轉，當移動至較深的海域後雙渦流系統有相伴移動、分離並退回的現象。
3. 由分析結果可以推論，雙渦流系統底部相連的結構，影響深度可達3公里深。

(二) 東經 $90^{\circ}\sim 120^{\circ}$ ，南緯 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ：

在澳洲西邊的雙渦流系統，我們觀察到雙渦流系統將溫暖的海水往高緯度帶。

二、實驗中模擬雙渦流系統的研究結果，分成以下三個部分：

(一) 雙渦流系統結構的觀測：

模擬雙渦流系統中心連線平均距離 11.5 cm 、平均深度 6.36 cm 、平均行進速度 4.7 cm/s 。

(二) 物質與熱量傳遞的觀測：

雙渦流系統會互相傳遞物質與熱量，以及攜帶物質與熱量前進。

(三) 阻礙物與地形對於雙渦流系統的影響：

1. 雙渦流系統通過桿子時會斷開，之後又馬上連通，但是因為能量有減弱，因此雙渦流的連心距會縮短，且行進速度變慢。
2. 當雙渦流系統遇到大型阻礙物即擋板時，雙渦流則會順著邊界彼此分開並退行。
3. 當雙渦流系統往水深愈來愈淺的水域移動時，渦流垂直結構會傾斜，下方連結處移動較慢，雙渦流會平行等深線先靠近再分開，而後沿著邊界退行。