

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作品名稱：假如我是正常的？！—

再探渦流脫離是否可能為聖嬰發生動力

得獎獎項：大會獎第二名

美國團隊正選代表:參加美國第 56 屆國際科技展

覽會

學 校：高雄市立高雄女子高級中學

作 者：林彥君、葉育君

評語與建議事項：

本作品認為南極繞極環流通過南美洲南端時會形成渦流，此等渦流脫離該地區時，可能是引發 El Nino 之另一機制，本作品具有創意，此一想法過去在科學文獻中少見，作者表達能力良好，對資料之收集及整理付出相當之心力

壹、前言

聖嬰現象為全球的共同話題之一，由於其發生會影響全球性氣候的改變，使原本乾旱處下起傾盆大雨，原本潮濕氣候的地區成了乾旱地區，導致生命、財產嚴重性損失，這也是引發本研究想站在不同科學領域角度來探就聖嬰現象的發生的原因。目前科學家大都以大氣觀點來說明聖嬰的成因：太平洋上因風向改變引起海水流向或動能變化，導致太平洋赤道地區及南美洲西側海面溫度的改變，而觸發聖嬰的發生。由於海水的熱容量比空氣大，因此我們想以海洋觀點來說明另一種可能觸動聖嬰發生的動力，在生活經驗裡，我們發現水流通過障礙物會在後方形成渦流，因此，當南極繞極環流通過德瑞克通道受到南美洲南端阻礙時，有可能在南美洲形成週期性渦流生成及脫離的現象。「這樣的渦流是否存在？」、「渦流脫離後在南美洲左右岸海面溫度、高度是否發生變化？」、「此動力是否進而觸發聖嬰現象？」，是本研究期待以新思惟解釋引發這個全球現象的另一可能動力。

貳、研究過程

一、研究器材

- (一) 長方體透明塑膠盒
- (二) 高於水面的障礙物
- (三) 南美洲水蠟模型
- (四) 流速計
- (五) 數位攝影機
- (六) Temperature Sensor(溫度探針)
- (七) 電腦
- (八) 螢幕控制器
- (九) 黃色螢光劑
- (十) 桃紅色螢光劑
- (十一) 水溶性凝固劑
- (十二) 彩色棉線

二、 「流體經過通道前後溫度改變」實驗

(一) 硬體實驗裝置的設計

1. 將長方體透明塑膠盒(70cm*50cm*10cm)製成模擬水槽。
2. 將一注水頭接於塑膠盒一側,使注水口與水面平行,並將其利用水管連接水龍頭,在水管裝上裝設流速計。
3. 固定數位攝影機於天文望遠鏡用三腳架,調整角度,使之能由上方俯視水面。
4. 將溫度感應器連結於螢幕控制器,螢幕控制器再與電腦做連結。(圖 2-2-1)
5. 置三個溫度感應器分別於入水口處、通道內側、以及渦流脫離處。(圖 2-2-2)



圖 2-2-1 實驗裝置情形

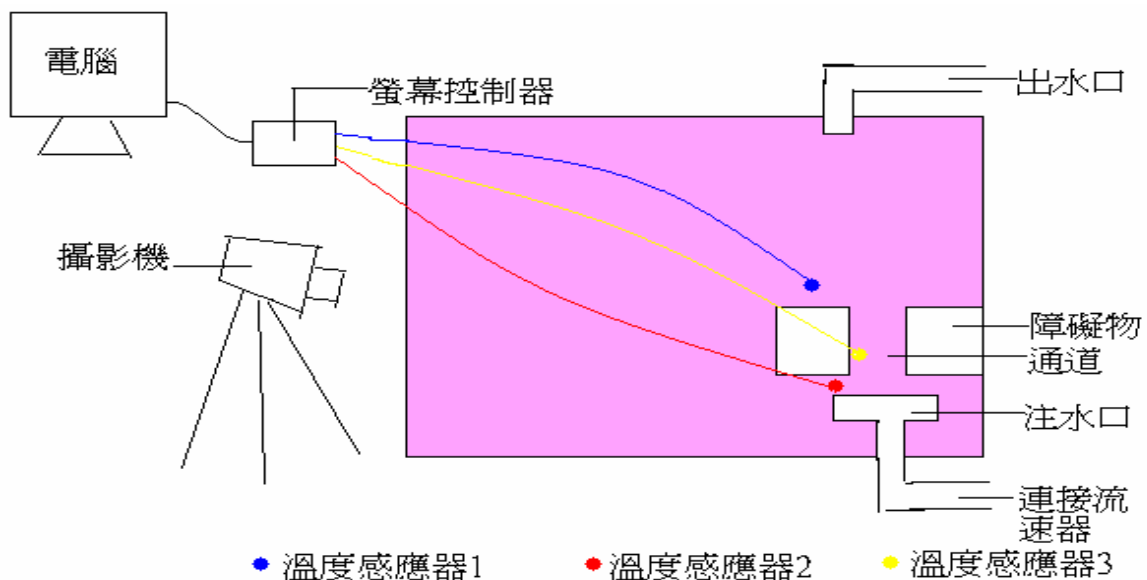


圖 2-2-2 實驗裝置示意圖

(二) 膠狀溶液的置備

1. 為使實驗渦流脫離的狀況更清晰,並模擬海水的濃度,加入水溶性凝固劑減緩流體流動之速度。
2. 將膠狀溶液以桃紅色螢光劑染色。

(三) 渦流脫離對附近水域溫度的影響

1. 放入兩個高度大於水面的障礙物。
2. 固定障礙物離注水口的距離為 10cm,通道寬度 3cm。
3. 於障礙物附近及渦流形成處滴入黃色螢光劑。
4. 控制流速於約 5~6 之間。
5. 打開水龍頭,利用水槽的另一端出水口固定水槽內水面高度。
6. 以數位攝影機拍攝其在該流速下渦流脫離時的溫度變化情形以利觀察。
7. 以 Data Studio 記錄渦流脫離時三個溫度感應器之變化情形,將之繪成折線圖。

三、「渦流脫離頻率與流速關係」實驗

(一) 硬體實驗裝置的設計

重複溫度實驗步驟 1~3，實驗裝置如圖 2-3-1,圖 2-3-2。



圖 2-3-1 流速計



圖 2-3-2 攝影機

(二) 膠狀溶液的置備

重複溫度實驗步驟 1~2。

(三) 水流通過不同寬度之通道對渦流脫離個數的影響

1. 放入兩個高度大於水面的障礙物。
2. 固定障礙物離注水口的距離為 10cm，通道寬度 1cm。(圖 2-3-3,圖 2-3-4)
3. 於障礙物附近及渦流形成處滴入黃色螢光劑。



圖 2-3-3 通道側視圖



圖 2-3-4 通道正視圖

4. 打開水龍頭，觀察流速計並記錄水流流速，利用水槽的另一端出水口固定水槽內水面高度。
5. 以數位攝影機拍攝其在不同流速下渦流的脫離情形以利觀察。
6. 分別調整流速快慢，重複上述步驟 3~4 若干次。
7. 從拍攝完成後的影帶，讀出並記錄在不同流速下，特定時間內渦流的脫離個數。
8. 根據其個數與時間，計算其渦流脫離頻率，記錄下來並做成圖表。
9. 將 2.之通道寬度改為 3cm、5cm 及 10cm。
10. 重複上述 2.~8.。
11. 找出渦流脫離的規則。

(四) 模擬南美洲德瑞特通道(drake passage)對渦流脫離個數的影響

1. 固定障礙物離注水口的距離為 10cm。
2. 放置以 $1:197 \times 10^5$ 縮小的南美洲水蠟模型，模擬南美洲南端下方及右側德瑞特通道的特殊地形構造。(圖 2-3-5)
3. 重複上述步驟(三)之 3.~8.。(圖 2-3-6)

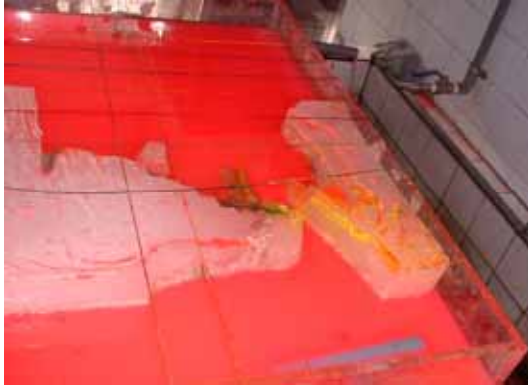


圖 2-3-5 南美洲模擬模型



圖 2-3-6 滴入螢光劑

四、網路資料數據處理

(一)資料來源及分組：

由 IRI(International Research Institute for climate prediction) 網站(網址：<http://iri.columbia.edu/>)下載南美洲附近之「海平面高度異常」(Sea Surface Height Anomaly)、「海平面溫度異常」(Sea Surface Temperature Anomaly)資料作下列分析：

1. 時間分組：

- (1) 從 1993 年 1 月起到 2003 年 7 月止，共 127 個月，依序編號，(例如：1993 年 1 月即編號 1、1993 年 2 月即編號 2、1994 年 1 月為編號 13)。
- (2) 找出三個時間組，分別為：

表 2-4-1 時間分組表

| | 編號 | 相對時間 |
|---|--------|------------------------|
| A | 53-82 | 1997 年 5 月~1999 年 10 月 |
| B | 73-104 | 1999 年 1 月~2001 年 8 月 |
| C | 97-117 | 2001 年 1 月~2002 年 9 月 |

2. 地區分組：

為分析流體通過南美洲陸地前後渦流形成及脫離狀況，將資料分成以下兩區：

- (1) 南美洲左邊
- (2) 南美洲右邊

兩邊各點位置如表 2-4-2 及圖 2-4-1 所示

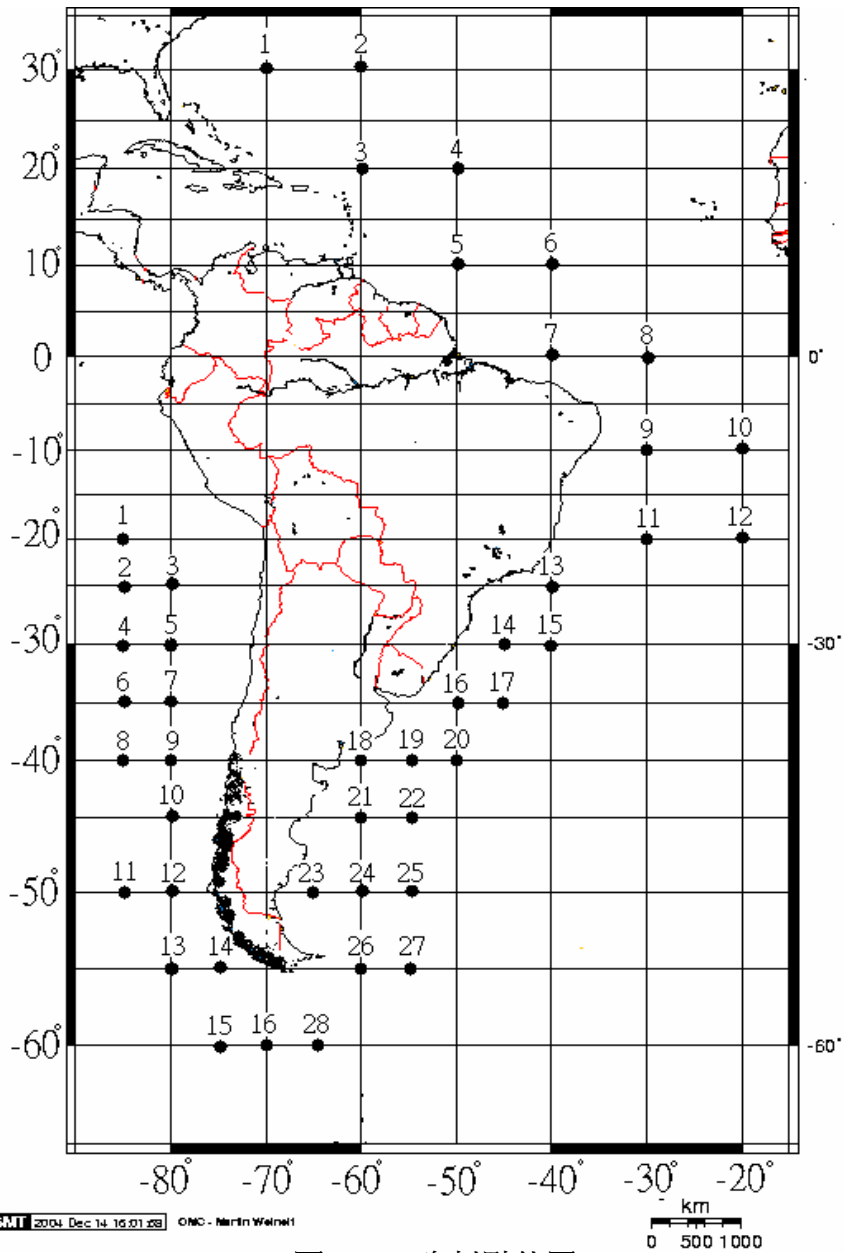


圖 2-4-1 資料點位置

表 2-4-2 衛星資料點經緯度座標表

| 南美洲左岸 | | | | 南美洲右岸 | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|----|-------|-------|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|
| 1 | 85.5w | 20.5s | 11 | 85.5w | 50.5s | 1 | 70w | 30n | 11 | 30w | 20s | 21 | 60w | 45s |
| 2 | 85.5w | 25.5s | 12 | 80.5w | 50.5s | 2 | 60w | 30n | 12 | 20w | 20s | 22 | 55w | 45s |
| 3 | 80.5w | 25.5s | 13 | 80.5w | 55.5s | 3 | 60w | 20n | 13 | 40w | 25s | 23 | 65w | 50s |
| 4 | 85.5w | 30.5s | 14 | 75.5w | 55.5s | 4 | 50w | 20n | 14 | 45w | 30s | 24 | 60w | 50s |
| 5 | 80.5w | 30.5s | 15 | 75.5w | 60.5s | 5 | 50w | 10n | 15 | 40w | 30s | 25 | 55w | 50s |
| 6 | 85.5w | 35.5s | 16 | 70.5w | 60.5s | 6 | 40w | 10n | 16 | 50w | 45s | 26 | 60w | 55s |
| 7 | 80.5w | 35.5s | | | | 7 | 40w | 0n | 17 | 55w | 45s | 27 | 55w | 55s |
| 8 | 85.5w | 40.5s | | | | 8 | 30w | 0n | 18 | 60w | 40s | 28 | 65w | 60s |
| 9 | 80.5w | 40.5s | | | | 9 | 30w | 10s | 19 | 55w | 40s | | | |
| 10 | 80.5w | 45.5s | | | | 10 | 20w | 10s | 20 | 50w | 40s | | | |

3. 尋找極值密集區

(1) 海平面溫度異常之極值：

- a 在圖 2-4-1 中南美洲左右邊共 44 個位置，以前後左右各差一度的資料平均，此平均值即為該位置之海平面溫度異常量。
- b. 以溫度異常大於最大值三分之一者為波峰，小於最小值三分之一者為波谷，統計每個位置出現溫度異常之波峰及波谷極值個數。
- c. 將連續三個月以上均出現兩次極值的位置，定義為「極值密集區」
- d. 將各位置之「極值密集區」隨時間關係紀錄成表格。
- e. 在網址(<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi.htm>)，找到 SOI 資料^{註1}，如表 2-4-3。在上述表格上標示 SOI 負值月份以做參考。

表 2-4-3 S O I 數值表

| SOI | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年\月 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 平均 |
| 1993 | -0.93 | -0.96 | -1.13 | -2.29 | -0.59 | -2.18 | -1.06 | -1.73 | -0.78 | -1.57 | -0.13 | 0.07 | -1.11 |
| 1994 | -0.25 | -0.06 | -1.35 | -2.63 | -1.26 | -1.46 | -1.7 | -2.03 | -1.7 | -1.58 | -0.81 | -1.41 | -1.35 |
| 1995 | -0.51 | -0.35 | 0.24 | -1.72 | -0.91 | -0.31 | 0.44 | -0.11 | 0.28 | -0.34 | -0.02 | -0.72 | -0.33 |
| 1996 | 0.82 | -0.02 | 0.53 | 0.91 | 0.46 | 1.6 | 0.7 | 0.33 | 0.66 | 0.26 | -0.21 | 0.71 | 0.56 |
| 1997 | 0.29 | 1.21 | -1.09 | -1.55 | -2.41 | -3.02 | -0.91 | -2.31 | -1.55 | -1.69 | -1.31 | -1.12 | -1.29 |
| 1998 | -2.53 | -1.97 | -3.31 | -2.8 | 0.17 | 1.05 | 1.49 | 0.83 | 1.04 | 1.01 | 1.01 | 1.32 | -0.23 |
| 1999 | 1.58 | 0.58 | 0.78 | 2.1 | 0.44 | 0 | 0.52 | -0.03 | -0.07 | 0.95 | 1.22 | 1.37 | 0.79 |
| 2000 | 0.47 | 1.24 | 0.88 | 1.76 | 0.42 | -0.87 | -0.34 | 0.48 | 0.97 | 0.87 | 2.02 | 0.77 | 0.72 |
| 2001 | 0.78 | 1 | 0.46 | -0.18 | -0.84 | -0.19 | -0.27 | -1.01 | 0.11 | -0.38 | 0.64 | -1.06 | -0.08 |
| 2002 | 0.2 | 0.64 | -0.81 | -0.48 | -1.54 | -1.02 | -0.7 | -1.62 | -0.66 | -0.79 | -0.6 | -1.3 | -0.72 |
| 2003 | -0.3 | -0.9 | -0.91 | -0.48 | -0.85 | -1.75 | 0.26 | -0.35 | -0.18 | -0.26 | -0.32 | 0.92 | -0.43 |

(2) 海平面高度異常:

- a 在圖 2-4-1 中南美洲左右邊共 44 個位置，以前後各差一度、左右各差兩度或四度的資料平均，此平均值即為該位置之海平面高度異常量。
- b 重覆上述步驟之 b,c,d。

4. 變異度分析：

利用 Excel 之函數功能，逐月計算南美洲左右邊各位置，海平面溫度異常及海平面高度異常之半年內變異度變化。

^{註1} Southern Oscillation Index(南方震盪指數SOI)：利用澳大利亞的達爾文島和南太平洋大溪地島間的海平面氣壓差的數據得到的一指數，科學家將數值低於“-1”之期間(月份)定為聖嬰發生之時期。

參、研究結果與討論

一、「流體經過通道前後溫度改變」實驗

(一) 實驗結果

將實驗裝置中(見第 3 頁圖 2-2-2)通道前後探針測得溫度隨時間的變化情形，以 Data Studio 軟體繪製成折線圖(圖 3-1-1 及圖 3-1-2)，結果顯示：

1. 水流注入裝滿冰水的模擬槽之後，位於通道後的位置附近，呈現緩慢升溫情形(圖 3-1-2 藍色線段)，而通道內(圖 3-1-2 黃色線段)與通道前(圖 3-1-2 紅色線段)則溫度迅速上升且波動明顯。
2. 在實驗過程中觀察到水槽內，每當渦流脫離時，顯示在電腦螢幕上的通道內溫度(黃色線段)會迅速上升(例：圖 3-1-2 中 a,b,c)。
3. 通道內溫度上升後，經過短暫時間〈1-2 秒〉隨即通道前位置(紅色線段)溫度也跟著上升(例：圖 3-1-2 中 a→A,b→B,c→C)。

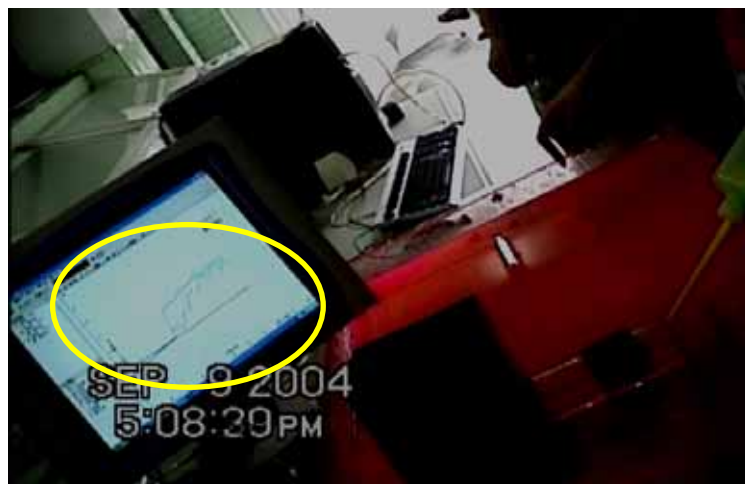


圖 3-1-1 以軟體繪製溫度探針測量之結果

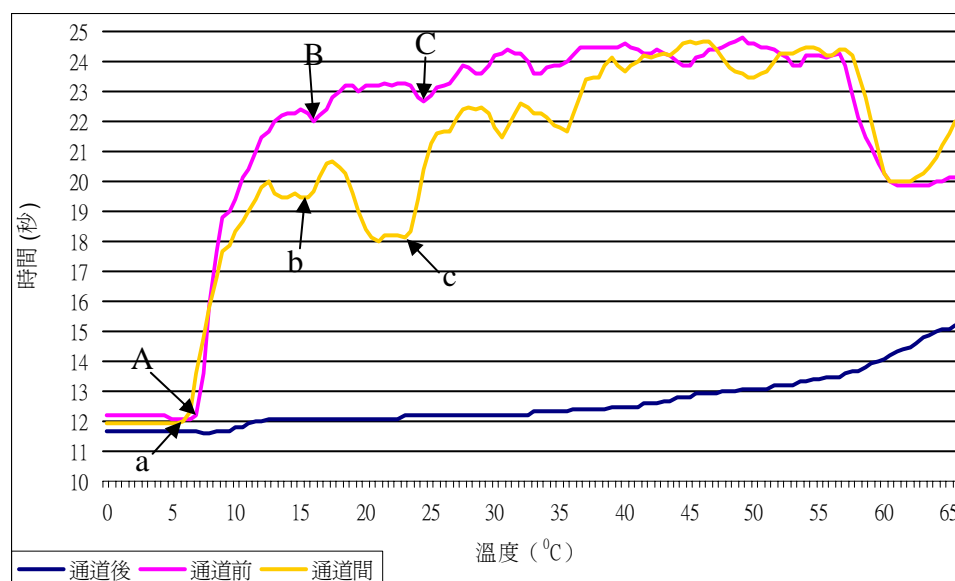


圖 3-1-2 通道內及前後溫度改變情形

(二) 實驗討論

由於本報告研究的主題是「渦流脫離是否可能為引發聖嬰的助力」，因此關於水流經過通道後產生的渦流，在脫離時如何影響附近水體的移動是首要的研究方向。在我們每次實驗中，水流通過通道時，若在障礙物側邊的 Z 位置處滴入適量黃色螢光劑，可看出渦流脫離瞬間，其脫離所形成的空區對附近區域水體的影響(見圖 3-1-3 過程 g、h)，Z 處黃色螢光劑似乎受到牽引，而有偏向渦流脫離後形成的空區處之情況，此種偏移應顯示渦流脫離瞬間，周圍的水會過來補注。

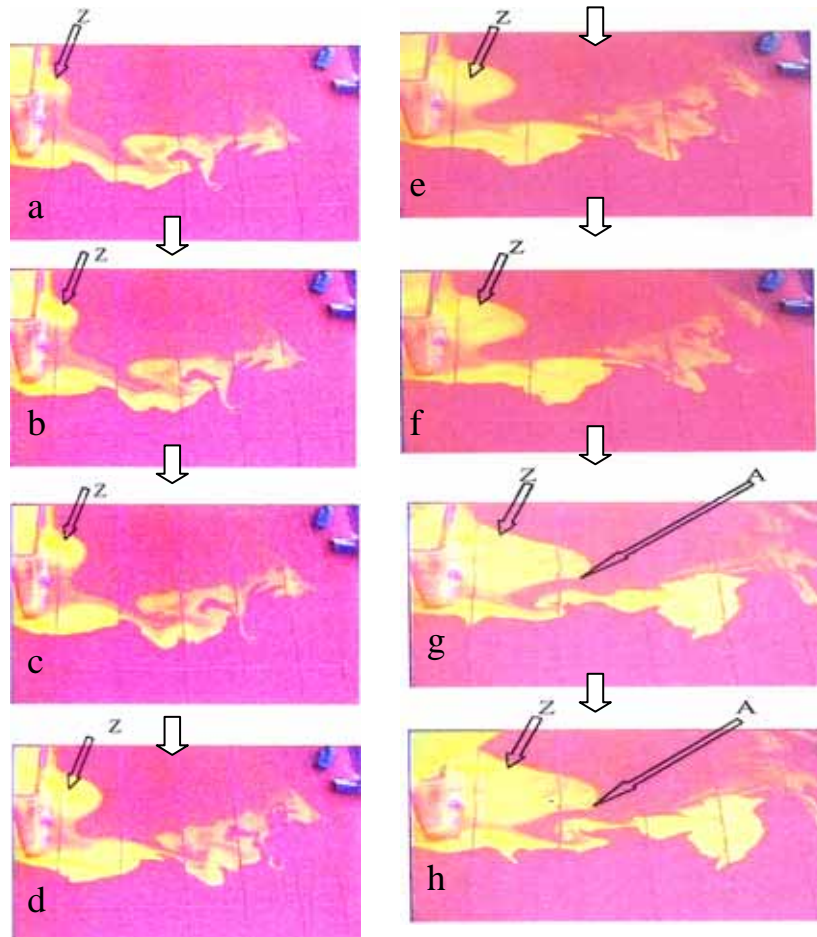


圖 3-1-3：障礙物側邊受渦流脫離影響之變化圖

為更進一步了解，我們再設計「流體經過通道前後溫度改變」的實驗，期望以物理性質(溫度)的變化，間接找出渦流脫離瞬間，位於通道前、後及通道內三位置處流體的移動情形。

實驗前對溫度探針做了簡單的測試，發現此探針在測量溫度變動時較能即時反應出水溫的上升，在水溫下降時，探針會延遲數秒才做出反應。因為探針對升溫的改變較靈敏的結果，在流體經過通道前後溫度改變實驗中，特以自來水(溫度較高)注入裝冰水的模擬槽中(溫度較低)，將溫度探針置於通道內側及前後三位置(見第三頁圖 2-2-2)，測量高溫水流過通道進入較低溫水域時的升溫情況，實驗設計雖與實際上較低溫的南極繞極環流通過南美洲南端通道附近時，會進入較高溫海域使該海域降溫的

狀況相反，但設計此實驗的目的，在於經由通道附近溫度的變化，間接找出渦流脫離時附近水域的補注及移動情形，因此將高溫水注入低溫模擬槽，並不造成實驗及實際南美洲情形對照上的矛盾。

實驗進行中，由於較暖的水進入通道後方大面積的冰水區域，前者流量較後者體積小得多，所以進入的暖水會被快速混合，導致通道後(藍色線段)的水域升溫非常緩慢。但當較暖的水進入狹小的通道內及通道前區域的冰水區域時，因前者流量和後者體積相近，溫度的變化極易顯現，所以二區域應該較能夠提供冷暖水移動情形的參考。以溫度探針測量此二區域溫度變化趨勢如結果 3 (圖 3-1-2)，每當通道內(黃色線段)溫度上升後，經過一、二秒，在通道前位置處(紅色線段)溫度也跟著上升(a→A,b→B,c→C)，我們推測這個時間上的巧合，可能是水流通過通道形成渦流脫離時，帶動通道前較暖的水體，使通道中的水溫上升。

在小尺度的通道實驗內，均顯示渦流脫離後會牽動附近的水體來補注，我們推測當大尺度南極繞極環流通過南美洲南端大尺度的德瑞克通道時，或許也會出現類似的渦流脫離，並且在通道附近引發周圍海水補注，這樣的補注可能帶動更大規模海水流動，產生形成聖嬰現象的助力。

上述的想法是經由通道實驗過程及結果形成的假設，接下來，我們預備經由不同實驗及資料來檢驗此假設的可能性。

二、「渦流脫離頻率與流速關係」實驗

(一) 幾何形狀通道實驗結果 (如圖 3-2-1 及圖 3-2-2)

以不同流速的水，經利用幾何障礙物所形成不同寬度的通道後形成渦流，計算渦流脫離頻率和流速的關係，如圖 3-2-1，下圖顯示：

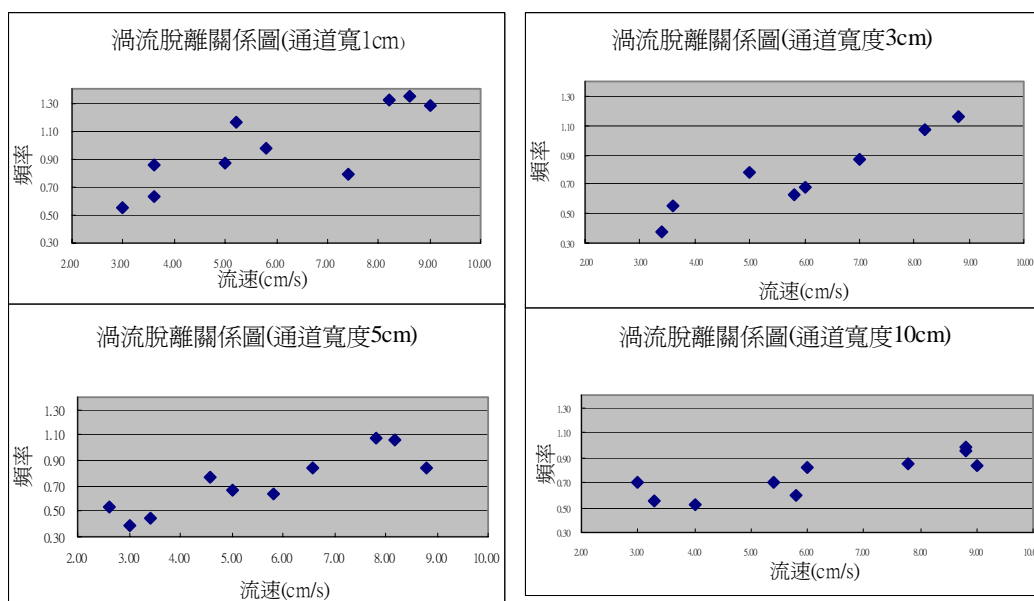
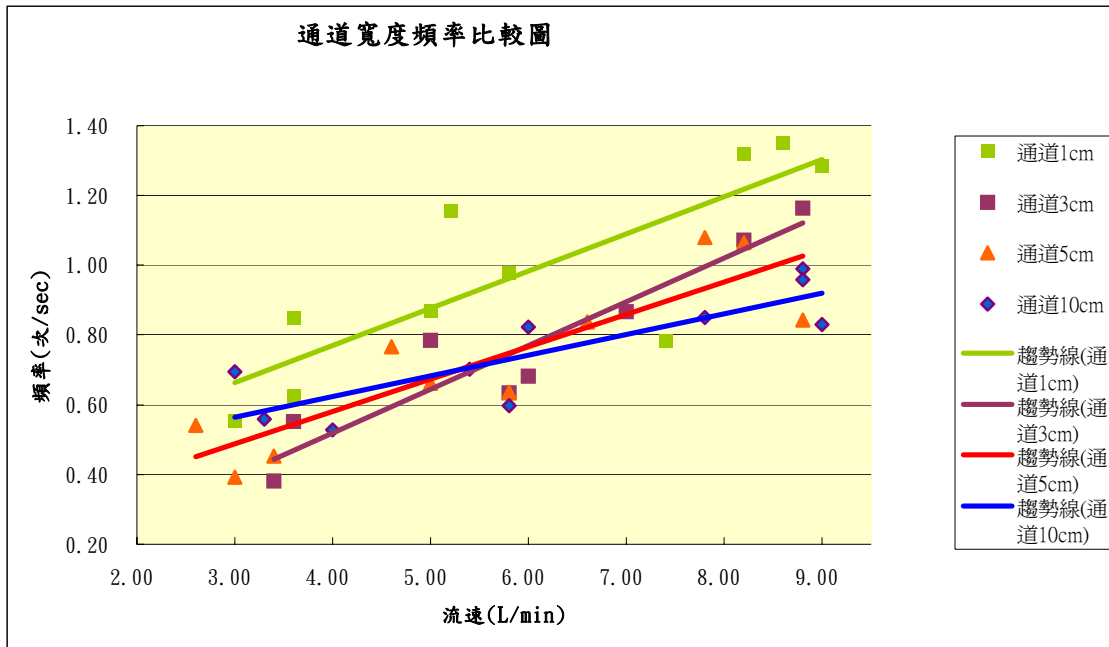


圖 3-2-1 不同通道寬度窩流脫離頻率與流速的關係

- (1) 通道寬度越小，渦流脫離頻率越高。
- (2) 當通道寬度固定時，流速愈快，渦流脫離的頻率也相對地愈高，即流速與頻率大約成一線性關係。
- (3) 將圖 3-2-1 合併整理成圖 3-2-2 發現，流速大於某一程度後（約為 5.6 cm/s），相同流速下，通道寬度愈小，渦流脫離的頻率也愈大。



3-2-2 通道寬度與渦流脫離頻率比較圖

(二) 幾何形狀通道實驗討論

當流體通過通道時，可能在通道後形成渦流、小擾動或片狀流動，並在一段時間之後脫離消失。為瞭解渦流脫離的必要條件，本報告先利用簡單幾何形狀的立體金屬塊製作成不同寬度的通道 (L)，並改變水流通過的速度 (V)，嘗試觀察造成渦流脫離的物理環境，並分析渦流脫離頻率 (f) 和 L 及 V 二變因間的關係，在圖 3-2-1 及圖 3-2-2 中顯現出來的結果與我們在書上找到的經驗公式 $Sr=f \cdot L/v$ 相符 (Sr 為常數)。

(三) 「模擬德瑞克通道」實驗結果與討論

前面實驗均以幾何形狀的通道計算渦流脫離頻率，但以此種幾何通道，較無法接近模擬德瑞克通道可能形成的渦流狀態，因為南美洲陸塊南端地形不規則，且德瑞克通道垂直剖面接近峽谷地形，此二項特徵除了造成找尋特徵通道寬度 (L) 的困難之外，海底峽谷地形本身或許也影響渦流脫離的頻率，因此製作南美洲模型，來模擬德瑞克通道實有必要性，兩者之結果比較如下：(見下頁圖 3-2-3)

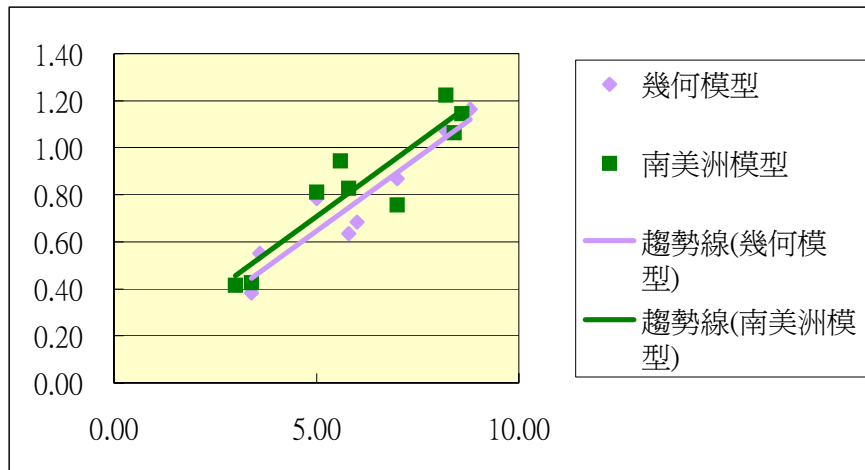


圖 3-2-3 南美洲模型與幾何模型的比較

模擬德瑞克通道實驗和幾何通道實驗的結果之趨勢線有近乎相同的斜率，但模擬德瑞克通道的趨勢線較高，即脫離頻率較高。導致此差異的變因，推測是德瑞克海峽地形垂直方向的上寬下窄或是南美洲地形本身的地形不規則所致（前面實驗證明若流速相同，則通道寬度越窄，渦流形成頻率越高）。若此模擬通道結果，可對照到實際南美洲的情形，可預期實際脫離頻率應高於 Sr 的經驗公式計算出來之南美洲渦流脫離頻率。

由於我們主要的想法是希望證明「南極繞極環流經南美洲引發渦流可帶動聖嬰的發生」，因此，做完所有的模擬實驗後，在分析實際衛星資料前，第一個要件必須確定通過南美洲的南極繞極環流到底有沒有可能形成渦流後，才可進一步對接下來的所有想法作印證。

三、南美洲南端渦流形成的可能性

從網站(http://en2.wikipedia.org/wiki/Reynolds_number)找到雷諾數的方程式：

$Re = v \cdot L / \nu$ ，其中 Re 為雷諾數(Reynolds number)， ν 為運動流體黏滯係數(kinematic fluid viscosity)， L 為流體通道寬度， v 為流體之流速。此方程式主要檢測流體通過通道後，能否形成渦流。查閱網站得南極繞極環流(圖 3-3-1)之表面洋流流速約為 3~18cm/s^{註2}，而深海密度流流速較難找到，僅能由全球密度流平均流速代替，約為 1cm/s^{註3}，另外，海水的黏滯係數 ν 大約為 $1.025 \cdot 10^{-2} \text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$ ^{註4}，上述洋流通過寬度 (L)約 $1.2 \cdot 10^8 \text{cm}$ 的德瑞克通道，得雷諾數 Re 分別為 10^{11} 和 10^{10} ，滿足渦流形成條件($Re > 2300$)，故南極繞極環流通過南美洲南端的確有可能形成渦流。

註2 <http://www.knmi.com/onderzk/CKO/doc/EMIC/ReferenceRun/uos.html>

註3 龍騰版基礎地球科學課本內敘述全球平均密度流流速

註4 <http://en.wikipedia.org>

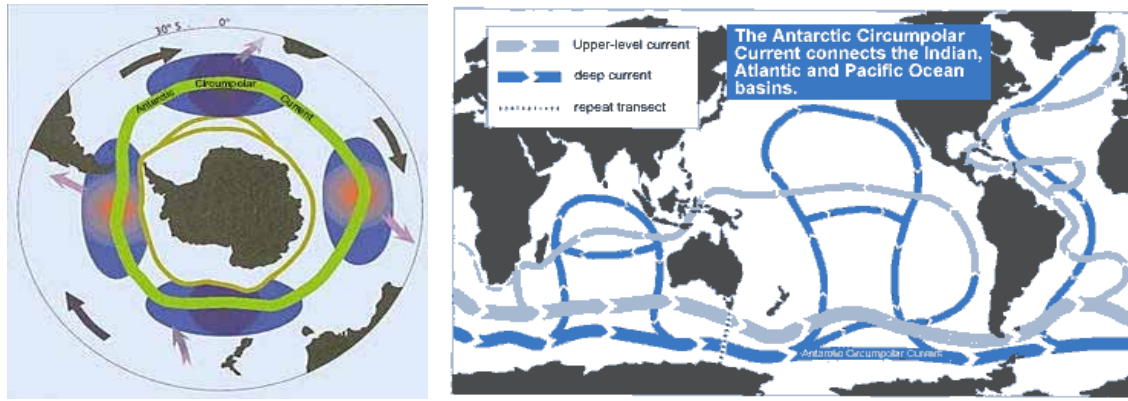


圖 3-3-1 南極繞極環流圖

(圖片來源：http://www.parks.tas.gov.au/fahan_mi_shipwrecks/infobot/acc.htm)

四、由極值密集區分析南美洲左右岸海水物理性質變化

經由雷諾數方程式結果判斷，海流通過南美洲南端有形成渦流的條件，但目前仍無法明顯在人造衛星圖中找到證據印證此想法（因為時間及經費有限），不過我們認為渦流的脫離必定引發附近海域物理性質的改變，分析這些實際數據，或能為「渦流脫離引發聖嬰」的想法找到間接證據。

我們利用從人造衛星圖得到南美洲左岸及右岸（見圖 3-4-1）的海平面溫度及高度資料，包含海水的四項物理性質：「海平面溫度異常(ssta）」（附圖一、二、三）、「海平面高度異常(ssha）」（附圖四、五、六）、「海平面溫度異常的變異度(ssta var)」及「海平面高度異常的變異度(ssha var）」（附圖七至十一），分析上述資料結果可看出有三組時間的變化趨勢非常一致，分別為 A 組（月份編號 53-82，1997 年 5 月-1999 年 10 月）、B 組（月份編號 73-104，1999 年 1 月-2001 年 8 月）、C 組（月份編號 97-117，2001 年 1 月-2002 年 9 月），整理他們共同的變化趨勢，發現從時間組 A.B.C 中均約可分成截然不同的兩段，於是在以下的描述，我們將時間分成「變化趨勢前段」及「變化趨勢後段」，其物理性質之變動趨勢如下：

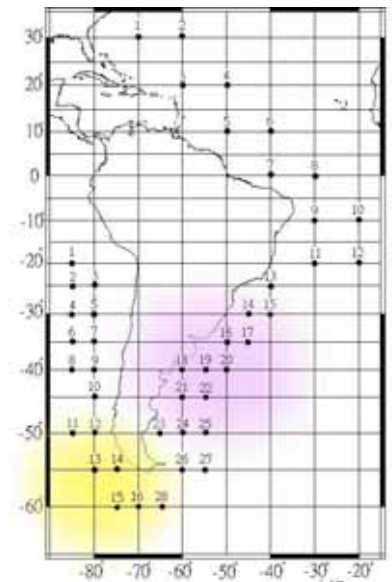


圖 3-4-1 分組各點位置圖

(一) 「變化趨勢前段」：（見表 3-4-1 到表 3-4-3）

1. 資料分析結果


在時間組 A.B.C 的前半段，同時出現下列密集區，包含：在南美洲右岸（圖 3-4-1 中 R16-R22 紫色區域），此區出現之海平面溫度異常(ssta)的高值密集區（見下頁表 3-4-1

到表 3-4-3 甲欄紅色區)、海平面高度異常(ssha)的高值密集區(乙欄紅色區)、海平面溫度異常變異度(ssta var)的高值密集區(丙欄紅色區)、以及海平面高度異常變異度(ssha var)的高值密集區(丁欄紅色區);另外,南美洲左岸(上頁圖 3-4-1 中 L13-L16 黃色區域)海平面溫度異常(ssta)的低值密集區(甲欄藍色區)也約在此段時間出現。

表3-4-1 A組:「變化趨勢前段」出現集值密集月份

| 極值密集月份 | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|
| 區域 | | 南美洲右岸 | | | | | | 南美洲左岸 | | | |
| 欄別 | 位置 事件 | R16 | R18 | R19 | R20 | R21 | R22 | L13 | L14 | L15 | L16 |
| 甲 | ssta | 66-71 | 65-72 | 63-71 | 65-71 | 63-68 | 64-67 | 未出現 | 未出現 | 72-74 | 72-74 |
| 乙 | ssha | 69-71 | 未出現 | 68-71 | 68-69 | 67-71 | 未出現 | | | | |
| 丙 | ssta var | 66-69 | 65-69 | 63-67 | 65-67 | 64-67 | 65-67 | | | | |
| 丁 | ssha var | 69-72 | 不明顯 | 63-65 | 68-73 | 66-67 | 59-64 | | | | |

月份編號53-82, 1997年5月-1999年10月

 高值密集區

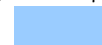

 低值密集區

表3-4-2 B組:「變化趨勢前段」出現集值密集月份

| 極值密集月份 | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 區域 | | 南美洲右岸 | | | | | | 南美洲左岸 | | | |
| 欄別 | 位置 事件 | R16 | R18 | R19 | R20 | R21 | R22 | L13 | L14 | L15 | L16 |
| 甲 | ssta | 83-85 | 83-87 | 82-92 | 82-88 | 83-88 | 83-92 | 85-86 | 85-86 | 85-86 | 85-89 |
| 乙 | ssha | 不明顯 | 未出現 | 84-88 | 80-89 | 未出現 | 90-93 | | | | |
| 丙 | ssta var | 84-87 | 83-86 | 83-87 | 82-84 | 不明顯 | 未出現 | | | | |
| 丁 | ssha var | 未出現 | 78-84 | 81-87 | 18-81 | 81-84 | 81-86 | | | | |

月份編號73-104, 1999年1月-1999年10月

 高值密集區

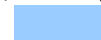

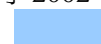
 低值密集區

表3-4-3 C組:「變化趨勢前段」出現集值密集月份

| 極值密集月份 | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|---------|-----|
| 區域 | | 南美洲右岸 | | | | | | 南美洲左岸 | | | |
| 欄別 | 位置 事件 | R16 | R18 | R19 | R20 | R21 | R22 | L13 | L14 | L15 | L16 |
| 甲 | ssta | 102-117 | 107-111 | 99-110 | 104-110 | 109-110 | 107-110 | 108-115 | 未出現 | 109-114 | 未出現 |
| 乙 | ssha | 104-109 | 未出現 | 97-103 | 108-109 | 110-112 | 101-104 | | | | |
| 丙 | ssta var | 99-106 | 101-106 | 100-103 | 104-108 | 104-106 | 未出現 | | | | |
| 丁 | ssha var | 99-108 | 未出現 | 98-107 | 101-109 | 106-111 | 106-111 | | | | |

月份編號97-117, 2001年1月-2002年9月

 高值密集區

 低值密集區

2.

資料分析討論

因為在時間組 A.B.C 前段中,南美洲右岸海平面約同時出現溫度異常、高度異常、以及這些異常的變異度之高值密集區(表 3-4-1 至 3-4-3 之甲~丁欄紅色部分),顯示此時

在南美洲右岸一定區域範圍內(圖 3-4-1 中 R16~R22 紫色區域)，海平面溫度、高度比平時高很多，且此二種物理性質在單位時間內動盪比平常要大。若以渦流演化來解釋這些現象，或可看成：南美洲南端形成的渦流脫離後，位於附近區域之低緯區的暖水大量湧入以補注此時的空區，造成這些區域的海平面水位升高(上頁表 3-4-1 至表 3-4-3 的乙欄紅色區)，湧入的暖水亦使海平面高度產生較大的動盪(上表丁欄紅色區)，這些暖水與此區域原本較冷的海水混合後，溫度的動盪也接著變大(上表丙欄紅色區)，且水溫異常升高(上表甲欄紅色區)。

另外約在此時南美洲左邊海平面溫度出現一段時間的低值密集區(上表甲欄藍色區)，推測此時南美洲左邊的太平洋，因為南美洲右邊暖水聚集，水位高、壓力大，左邊冷水(南極繞極環流)不易流入而聚集在德瑞克通道前。

在分析資料時，發現海平面高度的資料較不穩定，可能是因為海平面高度易受表面洋流、風或地形的影響，所以在 A.B.C 組內的變動較不明顯且不一致。相較下，海水比熱大，溫度變動慢，因此較不易受小因素干擾，故海平面溫度的資料可成為我們判斷的主要依據。

(二) 「變化趨勢後段」(見表 3-4-4 到表 3-4-6)

1. 衛星資料分析結果

在時間組 A.B.C 後期，此時南美洲右岸海平面有同時出現以下密集區，包含：溫度異常(ssa)低值密集區(表 3-4-4 到表 3-4-6 甲欄)、高度異常(ssha)低值密集區(下表 A、B、C 組乙欄)，及溫度異常變異度(ssa var)的高值密集區(下表 A、B、C 組丙欄)。

表3-4-4 A組：「變化趨勢後段」出現集值密集月份

| 極值密集月份 | | | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 區域 | | 南美洲右岸 | | | | | |
| 欄別 | 位置 事件 | R16 | R18 | R19 | R20 | R21 | R22 |
| 甲 | ssta | 73-74 | 未出現 | 73-74 | 73-75 | 73-74 | 73-74 |
| 乙 | ssha | 未出現 | 未出現 | 75-79 | 74-76 | 未出現 | 未出現 |
| 丙 | ssta var | 72-76 | 73-76 | 73-78 | 73-76 | 71-75 | 69-72 |

月份編號53-82，1997年5月-1999年10月

高值密集區 低值密集區

表3-4-5 B組：「變化趨勢後段」出現集值密集月份

| 極值密集月份 | | | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 區域 | | 南美洲右岸 | | | | | |
| 欄別 | 位置 事件 | R16 | R18 | R19 | R20 | R21 | R22 |
| 甲 | ssta | 91-92 | 93-97 | 95-98 | 91-94 | 93-97 | 95-101 |
| 乙 | ssha | 91-92 | 未出現 | 93-95 | 90-91 | 未出現 | 未出現 |
| 丙 | ssta var | 91-95 | 93-96 | 93-95 | 91-95 | 93-97 | 95-98 |


月份編號73-104，1999年1月-1999年10月


高值密集區 低值密集區

表3-4-6 C組：「變化趨勢後段」出現集值密集月份

| 極值密集月份 | | | | | | | |
|--------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 區域 | | 南美洲右岸 | | | | | |
| 欄別 | 位置 | R16 | R18 | R19 | R20 | R21 | R22 |
| | 事件 | | | | | | |
| 甲 | ssta | 未出現 | 115-117 | 116-117 | 未出現 | 113-117 | 113-117 |
| 乙 | ssha | 未出現 | 未出現 | 未出現 | 112-113 | 未出現 | 112-114 |
| 丙 | ssta var | 116-117 | 113-117 | 113-115 | 113-114 | 111-115 | 112-115 |

月份編號97-117，2001年1月-2002年9月

 高值密集區

 低值密集區

2. 衛星資料分析討論

在「變化趨勢前段」後之「變化趨勢後段」中，南美洲右岸海平面同時出現了上述三種密集區，以渦流演化的想法來解釋此一現象，推測可能在「變化趨勢前段」中，原南美洲右邊聚集之暖水高水位已消去，所以南美洲右邊的海平面高度降低(上表 A、B、C 組乙欄藍色區)，此時德瑞克通道左邊原先聚集的冷流(南極繞極環流)開始大量補入，冷暖水混和，導致溫度變異度升高(上表 A、B、C 組丙欄紅色區)，待混合均勻後，溫度即降低。

(三) 「變化趨勢後段」結束後(見附圖七、八、九):

1. 衛星資料分析結果

「變化趨勢後段」中右岸低溫密集區出現之後，SOI 負值出現或聖嬰發生，A 組在月份編號 81 (1999 年九月) 時，SOI 負值出現；B 組在月份編號 100 (2001 年 4 月) 時，SOI 負值出現，且最低值低於-0.8；C 組則在月份編號 113 (2002 年 5 月) 發生聖嬰現象。

2. 衛星資料分析討論

我們的想法是：在「變化趨勢後段」結束後，由於受南美洲右邊海平面高度降低造成的吸力吸引，南美洲左邊的海水會經德瑞克通道向南美洲右邊湧入(可由第 8、9 頁「流體經過通道後溫度改變」實驗中證明此一趨勢)，而湧入的海水可能不只來自於南極繞極環流，還伴隨著一部分原來向低緯區流動的秘魯涼流，因此秘魯涼流的一部分海水會反向流動，導致秘魯涼流的減弱，於是 SOI 負值或聖嬰現象發生。

五、綜合分析實驗及南美洲實驗資料

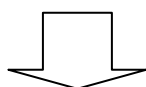
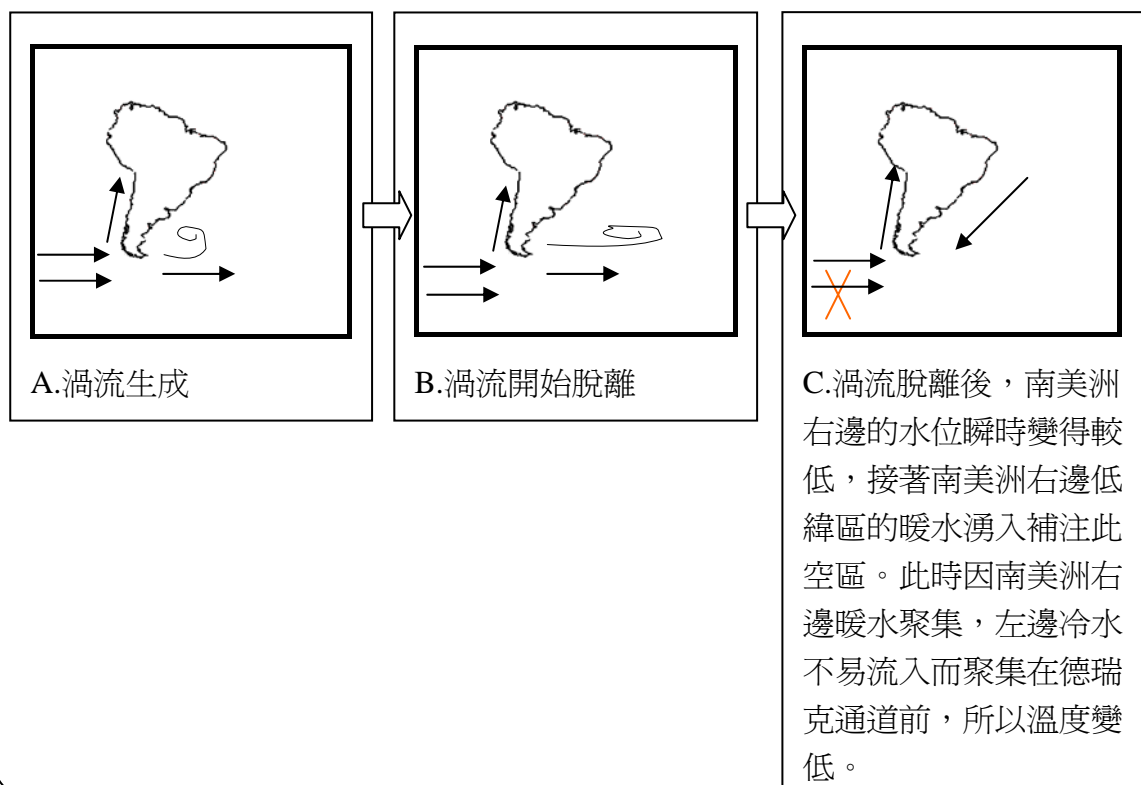
(一) 以渦流脫離作為聖嬰可能動力之概念

1. 將上述所有事件的概念製程流程圖如下：

◎變化趨勢前段：

南美洲右岸：海平面溫度升高、海平面高度升高、海平面溫度變動大、海平面高度變動大

南美洲左岸：海平面溫度降低

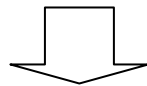


◎變化趨勢後段：

南美洲右岸：海平面溫度降低、海平面高度降低、海平面溫度變動大

南美洲左岸：未發生明顯變化

以渦流演化推測：



◎SOI 負值出現或聖嬰發生

以渦流演化推測：由於受南美洲右邊海平面高度降低造成的吸力吸引，南美洲左邊的海水會經德瑞克通道向南美洲右邊湧入，而湧入的海水可能不只來自於南極繞極環流，還伴隨著一部分原來向低緯區流動的秘魯涼流，因此秘魯涼流的一部分海水會反向流動，導致秘魯涼流的減弱，於是 SOI 負值或聖嬰現象發生。

(二) SOI 負值是渦流脫離後海水移動的結果？

若「洋流通過德瑞克通道有形成渦流」的條件成立，則下一步該要比較渦流脫離週期和此處海水物理性質變化週期是否相關，如果以渦流脫離能解釋所有海水溫度高度的改變，則我們的想法才可能被驗證成立。渦流脫離週期可由史托爾數(strouhal number)方

程式 $Sr=f*L/v$ 求出，海水的 Sr 值可視為常數，查資料約為 0.163， L 為南美洲南端通道寬度約 $8.2*10^7$ cm，流速 v 以南極環流平均流速約 5cm/s 代入，計算出渦流脫離頻率 f 後，得到渦流脫離週期(=1/f)約為 2 年，不過在德瑞克通道的模擬實驗中(見第 12 頁圖 3-2-3)，水流通過峽谷地形所形成的渦流脫離頻率會較幾何通道實驗高一些，因此渦流脫離週期可能略小於 2 年。在以衛星資料的實際數據分析結果發現，A.B.C 三時間組的結束時間約分別在 81、100、113，其中 A、B 兩組間隔為 19 個月，B、C 兩組間隔為 13 個月(見附圖一)，這個結果和以方程式計算的 2 年週期相近。

值得注意的是 A.B.C 三時間組在經過相同海水趨勢的物理性質變動後，在各組最後時間均出現 SOI 負值情形，若以渦流作為動力的想法可行的話，此或許顯示在每次渦流脫離後引發的周圍海水變動持續的週期約兩年，且最後都會導致南美洲左岸的太平洋上 SOI 變負值。

(三) 為何 A、B 兩時間組僅發生 SOI 負值，獨 C 組發生聖嬰現象？

比較 A、B、C 三時間組內最後出現的 SOI 值(見附圖一)，其中 C 組小於 -1 而發生了聖嬰現象；B 組未發生聖嬰但其 SOI 值大於 -1 小於 -0.8，僅次於 C 組；而 A 組中 SOI 則介於 0 到 -0.8 之間，即雖然在 A、B、C 三時間組內，海水都發生了近乎一致的物理性變化，但最後發生的 SOI 負值強度卻不一致。

在我們「以渦流脫離作為聖嬰助力」的想法下，有一個有趣的點必須特別考慮，因為，在我們衛星資料的分析結果中，我們推測南美洲右岸赤道處(見圖 3-5-1 綠色區域)有暖水過來補注，因此溫度、高度變高，且二者變異度變大，之後左岸出現低溫密集區，若沒有別處水流持續補入，待右岸高度較平復後，積在左岸的冷水大量湧入即造成右岸溫度降低。上述底線部份是我們所有推測中必須特別檢驗的地方，因為在附圖七、八中，我們觀察到在南美洲右岸接近赤道位置處之 A 組時間中，靠近赤道地區的南美洲右岸有大量高水位的暖水聚集(附圖七、八中紅色圈起來部分顯示 ssta 及 ssha 高值密集區)，相較之下，B 組有些許暖水聚集，而 C 組則幾乎沒有，所以檢驗的結果，是 A 組在上述底線時湧入較多暖水，B 組次之，C 組最少。

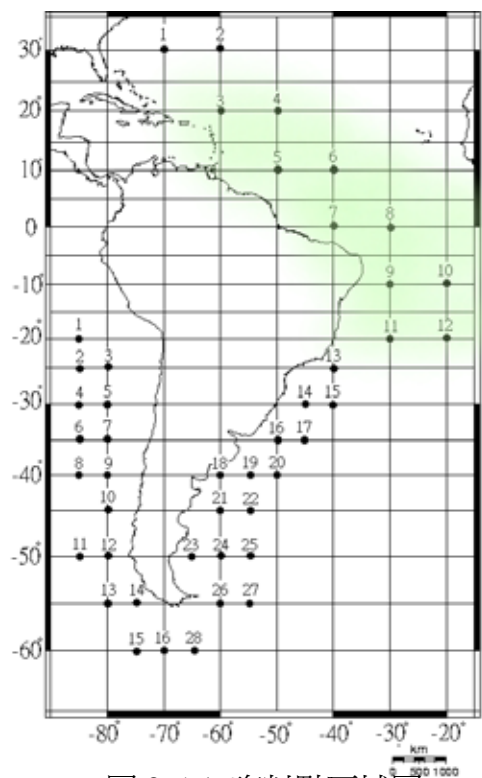


圖 3-5-1 資料點區域圖

因為在 A、B 組「變化趨勢後段」結束後，赤道地區的暖水聚集較多時，補注南美

洲右岸(第 13 頁圖 3-4-1 紫色區域)的暖水也較多，於是南極繞極環流所能流過德瑞克通道進入右岸的水量變少，致使左岸祕魯涼流海水反向情形較小，由於 SOI 值是在南美洲左邊的太平洋低緯區測定，此時南美洲左岸外海溫度升高較小，上空氣壓降低較少，因此 SOI 負值僅在 0 到-1 之間，無法成爲聖嬰，故只有產生 SOI 負值的情況，但當 C 組赤道地區沒有大量暖水聚集時，由南極繞極環流所補注的水會因此而變多，導致祕魯量流海水反流程度變大，進而牽動南美洲左岸低緯區之海水，而產生聖嬰現象。

總結以上所述，若能以渦流的演化來解釋 SOI 負值發生的原因，那麼 SOI 負值的發生可能是一個大致上具規律性且正常 (normal) 的現象；週期約接近兩年，且若赤道附近暖水沒有下來補注南美洲右岸時，才有足夠發生聖嬰的動力，在我們的資料分析結果中，二次聖嬰發生約間隔三年多，此和 1970 年以來南美洲南端計算出之聖嬰發生週期 3.4 年相當(圖 3-5-2)。

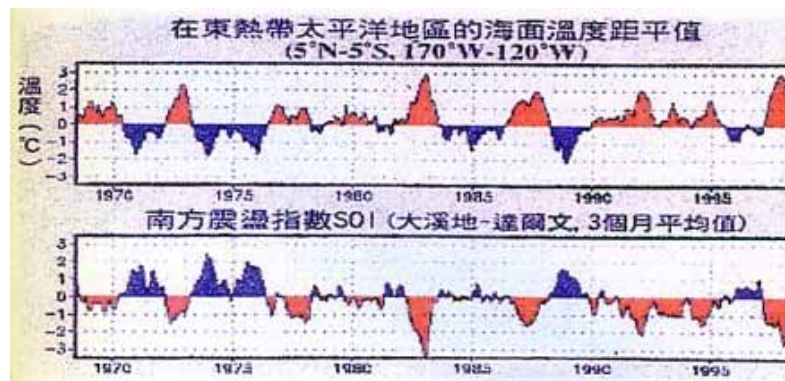


圖 3-5-2 熱帶東太平洋地區的海平面溫度距平值

肆、結論

- 五、 流體通過通道之實驗結果顯示，通道寬度及流體的流速二變因為能否形成渦流的關鍵。流速越快、通道寬度越小，渦流脫離的頻率越高。
- 六、 渦流脫離瞬間會在通道後形成一低水位空區，之後通道前及周圍地區水會向此空區流入補充，帶動水體的移動。
- 七、 由南極繞極環流流速及南美洲南端通道寬度求得之雷諾數顯示，南美洲南端符合形成渦流的條件。
- 八、 以「渦流脫離來作為聖嬰的助力」時，由南美洲附近海水的物理性質變化分析結果發現，南美洲右岸 A.B.C 三時間組之「變化趨勢前期」，均出現的海平面溫度及高度異常升高的密集區，且溫度、高度異常的變動很大，可能對應於渦流脫離時引發附近暖水湧入的結果。
- 九、 南美洲左岸在 A、B、C 三時間組之「變化趨勢後段」出現海平面溫度異常低值的密集情形，可能對應到南美洲右岸高水位影響，以致冷水積在南美洲右岸德瑞克通道前。
- 十、 A、B、C 時間組最後 SOI 均為負值，但負值程度不同。可能受南美洲右岸赤道附近暖水向下移動的影響。
- 十一、 若以渦流的演化來解釋 SOI 負值發生的原因，以南極環流流速及德瑞克通道通道寬度代入史托爾數公式，算出渦流脫離週期約 2 年，且只在南美洲右岸赤道附近暖水較無向下移動時，才能形成聖嬰，其發生週期約 3 年多，和 1970 年來聖嬰發生歷史紀錄相符。

伍、參考資料

- 十二、 International Research Institute for climate prediction
(<http://iridl.ldeo.columbia.edu>)
- 十三、 National Geophysical Data Center
(<http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>)
- 十四、 Atmospheric Analysis group (<http://pacs.coas.oregonstate.edu>)
- 十五、 National Oceanographic data center (<http://www.nodc.noaa.gov>)
- 十六、 National Aeronautics and Space Administration
(<http://search.nasa.gov/home/index.html>)
- 十七、 Department of Earth Sciences National Taiwan Normal University
(<http://www.geos.ntnu.edu.tw>)
- 十八、 National Environmental Satellite Data and information service
(<http://www.nesdis.noaa.gov>)
- 十九、 Netherlands Centre for Climate Research (<http://www.knmi.com>)
- 二十、 Earth and Space research (<http://www.esr.org>)
- 二十一、 Donald F. Young, Bruce R. Munson, Theodore H. Okiishi (1997) A Brief Introduction to Fluid Mechanics. Copying by John Wiley & Sons, Inc.
- 二十二、 王執民主編，基礎地球科學，龍騰文化事業股份有限公司，110~113頁。
- 二十三、 http://www.aquarius.geomar.de/omc/make_map.html