

壹、研究動機

目前科學家大都將聖嬰的成因放在太平洋赤道地區及南美洲西側，以太平洋上因風向改變引起海水流向或動能變化來解釋聖嬰，我想提出另一個可能觸動聖嬰的發生的動力。水流通過障礙物會在後方形成渦流，南極繞極環流通過德瑞克通道時會受南美洲南端阻礙，有可能在南美洲形成週期性渦流生成及脫離的現象，於是「這樣的渦流是否存在？」「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、研究目的

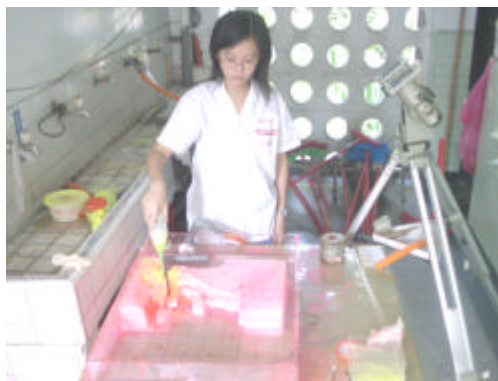
期望用南美洲附近海域的資料及實驗數據驗證渦流脫離為觸發聖嬰現象的動力之一。

參、研究過程與方式

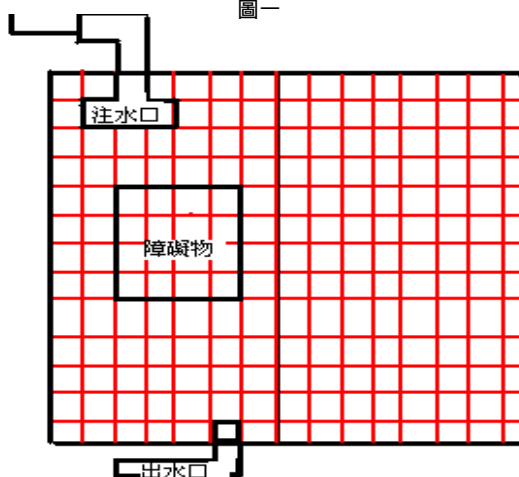
一、實驗步驟：

(一)硬體實驗裝置的設計

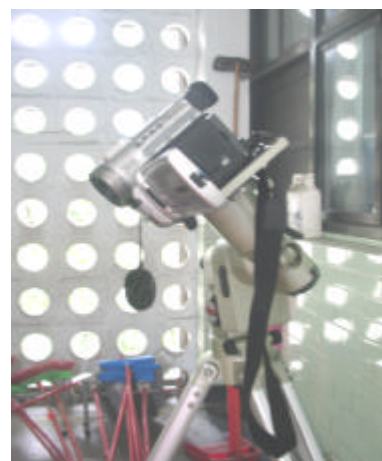
長方體塑膠盒用彩色棉線隔成方格(圖一)，以利觀察。將注水頭接於塑膠盒(圖二)，並將其利用水管連接水龍頭，將水管裝上流速計(圖三)。固定數位攝影機(圖四)，使之能由上方俯視水面。



圖一



圖二



圖三
(二)膠狀溶液的置備

加入水溶性凝固劑，將之以桃紅色螢光劑染色以便觀察。

圖四
(三)水流通過障礙物及模擬南美洲德瑞特通道(drake passage)對渦流形成及脫離的影響

依序放入尺寸不同且高度大於水面的障礙物和南美洲水蠟模型，於渦流形成處滴入黃色螢光劑，打開水龍頭，記錄水流速，調整流速快慢，觀察有無渦流形成。用數位攝影機拍攝渦流，從影帶中，讀出不同流速下，特定時間內渦流形成及脫離的個數。計算其出現頻率，做成圖表。

二、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：

| | 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 |

表一：時間分組表

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
- 各點位置如表二及圖七所示

表 二

圖七



| | 南美洲左邊 | 南美洲右邊 |
|----|-------------|---------|
| 1 | 85.5W 20.5S | 40W 25S |
| 2 | 80.5W 25.5S | 40W 30S |
| 3 | 85.5W 30.5S | 45W 30S |
| 4 | 85.5W 35.5S | 45W 35S |
| 5 | 85.5W 40.5S | 50W 35S |
| 6 | 80.5W 45.5S | 50W 40S |
| 7 | 80.5W 55.5S | 55W 40S |
| 8 | 75.5W 55.5S | 60W 40S |
| 9 | 75.5W 60.5S | 55W 45S |
| 10 | 70.5W 60.5S | 60W 45S |
| 11 | | 55W 50S |
| 12 | | 60W 50S |
| 13 | | 65W 50S |
| 14 | | 55W 55S |
| 15 | | 60W 55S |
| 16 | | 65W 60S |

3. 尋找極值密集區

(1) 海平面溫度異常之極值：

a. 在表一中南美洲左右邊共 25 個位置，以前後左右各差五度的資料平均，此平均值即為該位置之海平面溫度異常量。

b. 自定標準，以溫度異常大於 0.8 者為波峰，小於-0.6 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(註一)，如表三。

在上述表格上標示 SOI 負值月份以做參考。

(註一)：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。

| 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 |

表三：SOI 數值表

(2) 海平面高度異常：

a. 因資料不足，故海平面高度只取一點，以此值做為此位置之海平面高

度異常量。

- b. 因海平面高度振幅極大，不易取定值做為波峰和波谷，以其最高值的三分之一為波峰，低於其最低點的三分之一為波谷，統計每個位置出現極值的個數，重覆上述步驟之 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。

肆、結果與討論

一、渦流實驗結果

(一)幾何障礙物的實驗結果

1.在什麼情況下才會形成渦流？

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，並改變水流通過的速度，嘗試觀察可能造成渦流脫離的環境，如表四，由結果可看出，大致上，水的流速越快，通過通道越小，越易形成渦流。

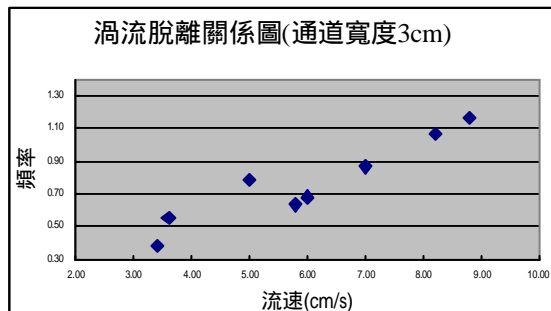
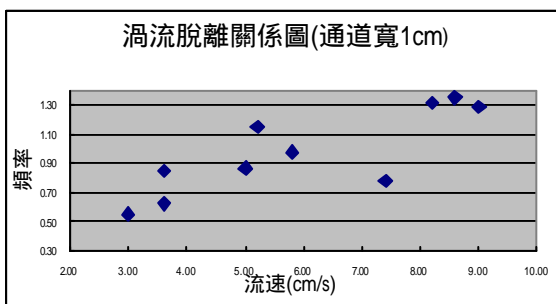
表四 不同流速及通道寬度下渦流生成情形

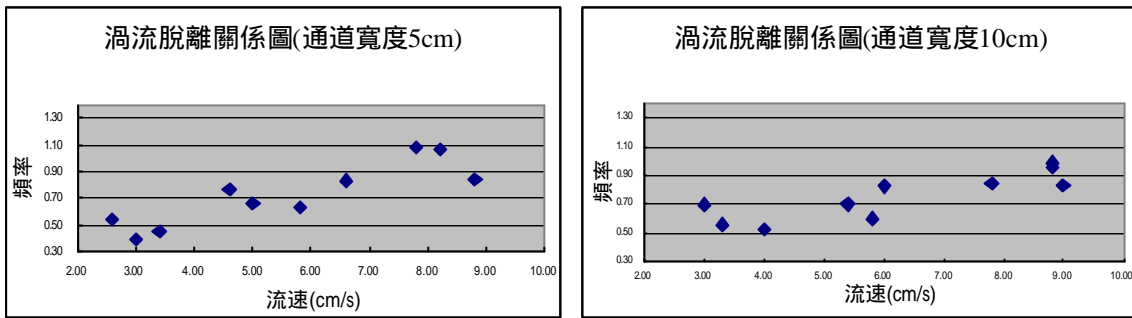
| 流速(cm/s) | 0~1.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | 4.0~5.0 | 8.0~9.0 |
|--------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 通道寬度 L=1 cm | 無 | 無 | 不明顯 | 不明顯 | 不明顯 | 有 |
| 通道寬度 L=3 cm | 不明顯 | 不明顯 | 有 | 有 | 有 | 有 |
| 通道寬度 L=5 cm | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 |
| 通道寬度 L=10 cm | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 |

2.流速及通道寬度如何影響渦流的生成與脫離

經由實驗得知：通道寬度(L)及流速(v)會影響渦流脫離的個數，所以實驗的下一個步驟即是改變這兩個變因，並計算渦流脫離的頻率，發現：

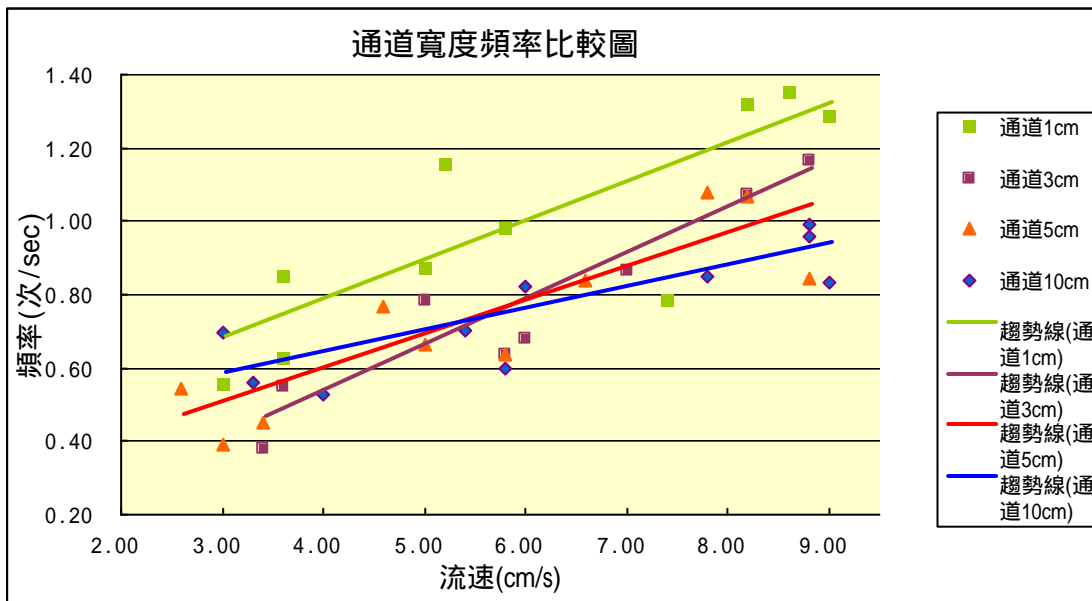
- (1)當通道寬度固定時，流速愈快，渦流脫離的頻率也相對地愈高，即流速與頻率大約成一線性關係。(如圖六所示)





圖六 不同通道寬度下流速與頻率關係圖

(2)當流速大於某一程度後（約為 5.6 cm/s），固定特定流速大小，通道寬度愈小，渦流脫離的頻率也愈大。（如圖七所示）



圖七 不同通道寬度比較圖

(二)幾何障礙物的實驗討論：

1.渦流形成的必要條件討論

前述結果顯示，流速較快的水流過較小的通道越容易產生渦流，為確切描述此二變因對渦流形成所扮演的角色，從網站 (http://en2.wikipedia.org/wiki/Reynolds_number)取得形成雷諾數的方程式： $Re = v \cdot L / \nu$ ，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。表五為不同速度的水流通過不同大小的障礙物求得之 Re ，此表可看出在 Re 約大於 147 可產生不太明顯的渦流，當 Re 大於 440 時產生的渦流十分明顯，但查閱資料發現，其渦流定義較嚴格， Re 需在 2300 以上才會產生明顯渦流，在此我們用網站上的嚴格定義作為下一步的依據。由於我們主要的想法是想證明「南極繞極環流經南美洲引發渦流可帶動聖嬰的發生」，因此，我們第一

個要件是必須先確定「通過南美洲的南極繞極環流可能形成渦流」之後，才可進一步對想法作印證。

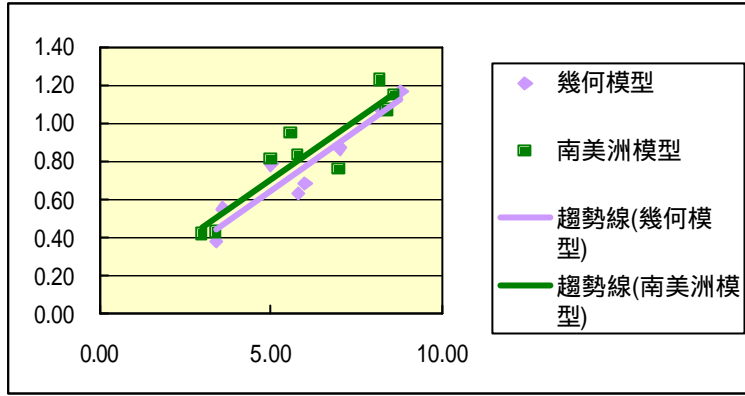
表五：不同流速及障礙物大小條件下的 Re 值

| 流速(cm/s) | 0~1.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | 4.0~5.0 | 8.0~9.0 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 通道寬度 L=1 cm | 48.78049 | 146.3415 | 243.9024 | 341.4634 | 439.0244 | 829.2683 |
| 通道寬度 L=3 cm | 146.3415 | 439.0244 | 731.7073 | 1024.39 | 1317.073 | 2487.805 |
| 通道寬度 L=5 cm | 243.9024 | 731.7073 | 1219.512 | 1707.317 | 2195.122 | 4146.341 |
| 通道寬度 L=10 cm | 487.8049 | 1463.415 | 2439.024 | 3414.634 | 4390.244 | 8292.683 |

(三)南美洲模型的實驗結果與討論

前面實驗均以規則的四方體模型計算渦流脫離頻率，但因為我欲以「洋流通過德瑞克海峽時，受南美洲阻擋形成渦流」來提出另一觸發聖嬰的可能動力，因此以幾何形狀來模擬，較無法逼近真實在南美洲附近可能形成的渦流脫離狀態。所以我以 1:19700000 的比例將南美洲縮小後製成模型，其和幾何障礙物最大不同處，在南美洲本身地形不規則及南美洲和南極洲之間為海底峽谷地形之德瑞克通道，此二項特徵除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，因此以不同水流速度通過南美洲模型，來計算渦流脫離頻率實有必要性，其和幾何模型為成通道結果比較如下：(見圖八)

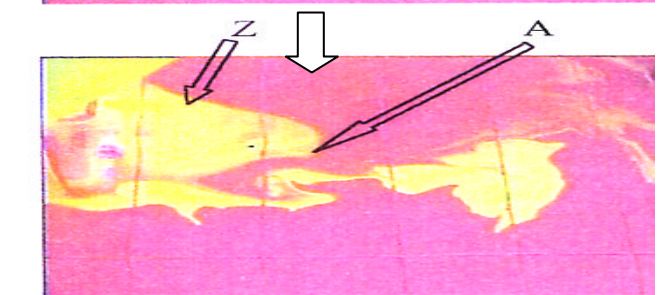
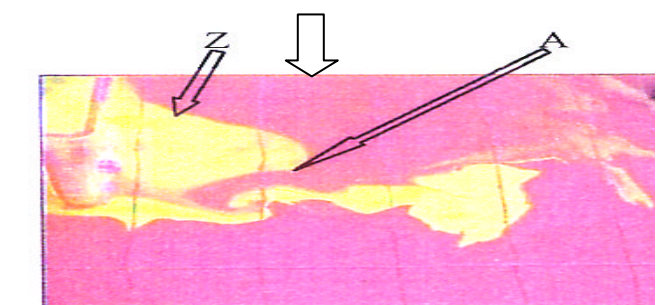
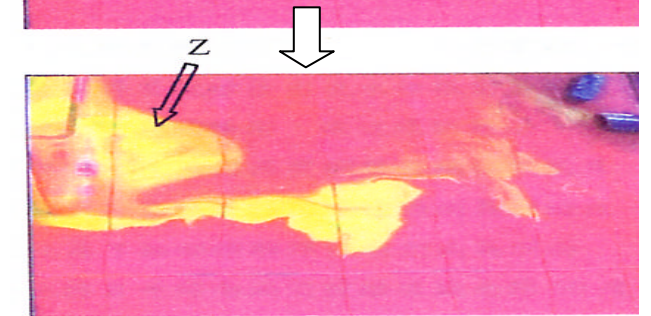
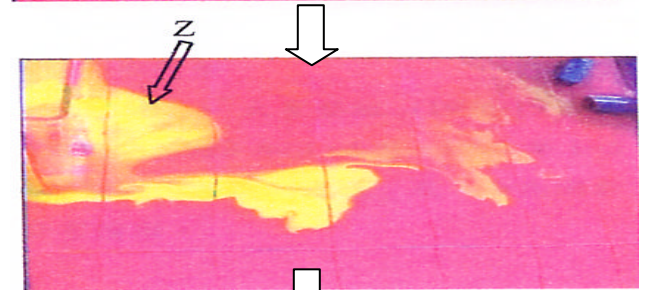
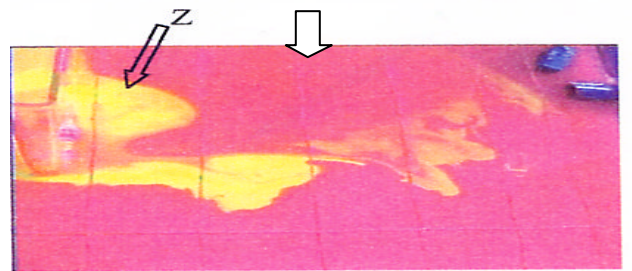
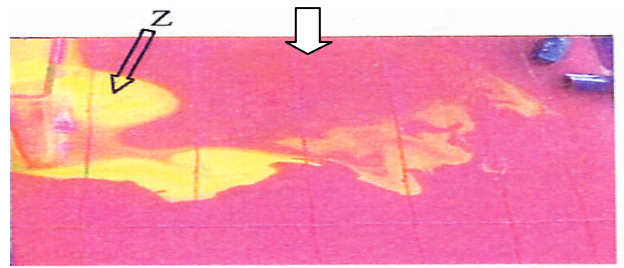
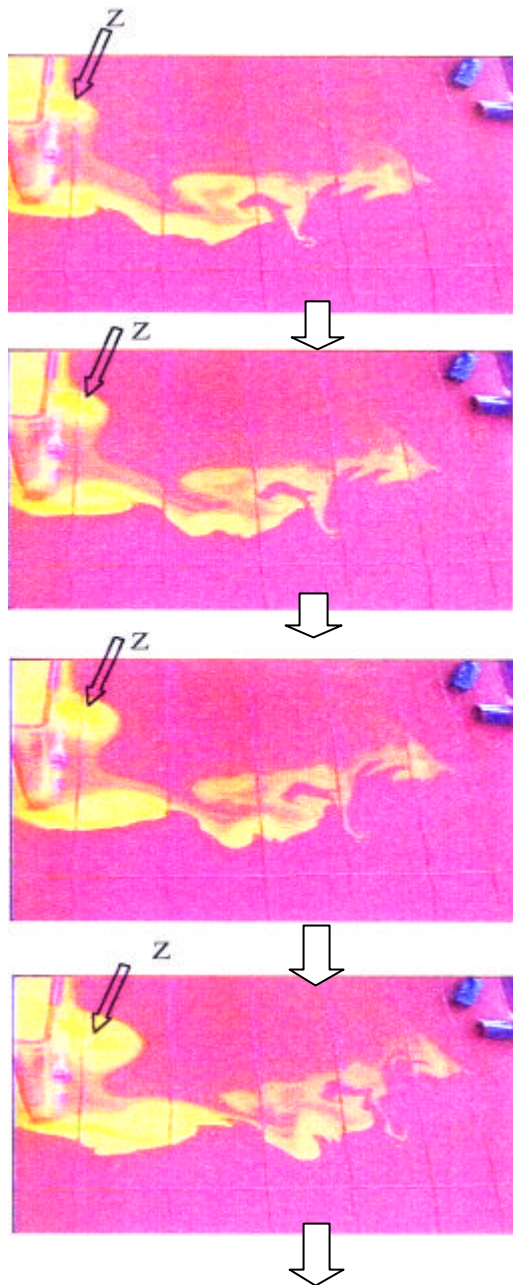
南美洲模型實驗的趨勢圖和幾何模型的趨勢圖斜率近乎相等，但南美洲模型的趨勢線稍微偏高，導致此差異的變因，可能是德瑞克海峽地形的上寬下窄而使影響渦流脫離之頻率使其略為升高（前面實驗證明若流速相同，則通道寬度越窄，渦流形成頻率越高）；也有可能是南美洲本身的地形不規則，因為我們做實驗所用的障礙物為立體幾何形狀，其兩端任一點距出水口之垂直距離皆相等，但是南美洲與南極洲所形成的水流進入口，為一由寬漸窄的漏斗形，任一點與出水口之垂直距離不一定相同，因此相較於垂直距離皆相同的幾何模型，或許較易使渦流的脫離頻率升高。因此幾何模型的實驗值會略小於南美洲模型之值。若假設放大此一數據，其之間各數值的關係不變，則以實際南美洲的海峽寬度與實際的流速代入 Sr 這個經驗公式(因為此通道在實驗時是採幾何模型的裝置)，因此可預期我們所算出來之南美洲渦流脫離頻率會稍小於其實際之頻率（數據分析的頻率）。



圖八 南美洲模型與幾何模型的比較

(四)障礙物側邊受渦流的影響

在實驗時若特地在障礙物側邊的Z位置處滴入適量黃色螢光劑，可看出渦流脫離瞬間，其脫離空區對其他地區的影響(見圖九)，當渦流脫離一瞬間，Z處黃色螢光劑似乎受到渦流脫離時低壓區的牽引，而有偏向下方渦流處的情況。此外我們也在實驗中觀察到，每次偶然脫離的瞬間，在其脫離的空區，水面突然降低，後因後方大量水湧入，使得水面動盪，一段時間後，振幅逐漸變小。

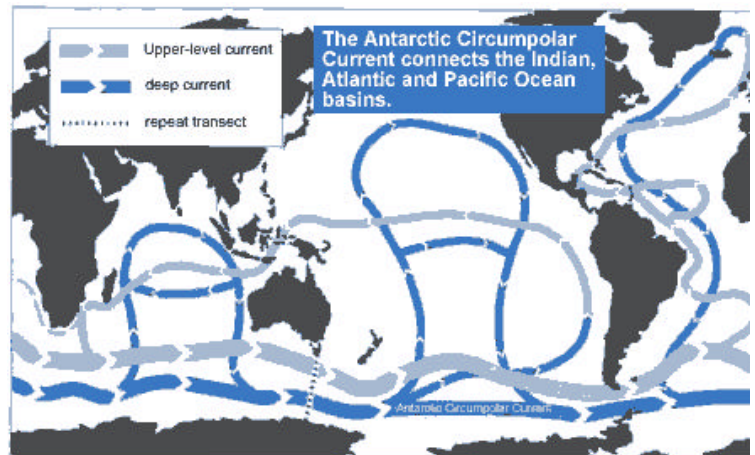
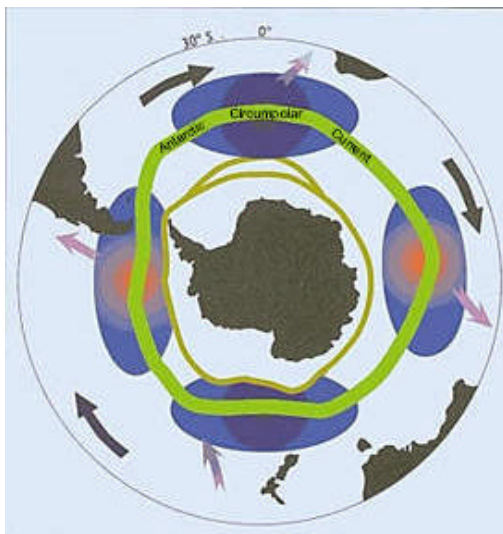


圖九：障礙物側邊受渦流脫離影響之變化圖

二、數據分析結果

(一)南極繞極環流通過南美洲南端，有可能形成渦流嗎？

由實驗結果發現，在特定障礙物大小(L)下，流體速度(v)大較易形成渦流，若以雷諾數方程式幫助我們判斷「南極繞極環流（圖十一）通過南美洲南端，有可能形成渦流嗎？」的問題，先要考慮實際南極繞極環流洋流流速(v)。由於洋流可分為表面風生洋流及深海密度流，查閱網站得南極繞極環流之表面洋流流速約為 3~18cm/s(註一)，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(註二)，另外，海水的黏滯係數 η 大約為 $1.025 \times 10^{-2} \text{ g/cm} \cdot \text{s}$ (註三)，則這些表面洋流及密度流通過寬度 (L)約 $8.2 \times 10^7 \text{ cm}$ 的南美洲南端形成之障礙物，可得雷諾數 Re 分別為 8×10^{10} 和 8×10^9 ，均遠大於 2300，滿足渦流形成條件，故南極繞極環流通過南美洲南端的確有可能形成渦流。



圖十一 南極繞極環流圖

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

註一：<http://www.knmi.com/onderzk/CKO/doc/EMIC/ReferenceRun/uos.html>

註二：此為龍騰版基礎地球科學課本內敘述之全球平均密度流流速

註三：<http://en.wikipedia.org>

(二)由極值密集區分析南美洲左右岸海水物理性質變化

雖然經由雷諾數結果判斷，海流通過南美洲南端有形成渦流的條件，目前仍無法明顯在人造衛星圖中找到證據印證此想法（時間有限，還來不及分析人

造衛星圖資料)，但渦流的生成及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，或能為我們渦流脫離引發聖嬰的想法找到間接證據。

本報告主要採用由人造衛星圖得到的海平面溫度及高度資料分析，包含海水的四項物理性質：「海平面高度異常(ssha)」(附圖二、四)、「海平面溫度異常(ssta)」(附圖一、三)、「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)」(附圖五、六)。結果發現在 A.B.C 三時間組內有非常一致的變化趨勢，為科學化分析此變動，我們自行設定標準(見研究方式二)，尋找上述六個物理性質的變化趨勢之密集區，為方便比較，記錄 A.B.C 三時間組之上述密集區，如表一到表六。若將 A.B.C 三時間組均分成二段，大致上前後段極值密集區變化趨勢截然不同，在以下的描述裡，我們將時間分成「變化趨勢前段」及「變化趨勢後段」，則其在上述所列四項物理性質之變動如下：

表八：A 組，「變化趨勢前段」出現極值密集區月份

| | | 極值密集月份 | | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------|------------|----------------|----------------|------------|
| 欄別 | | 甲欄 | 乙欄 | 丙欄 | 丁欄 | 戊欄 |
| 事件 區域 | | ssta 高值 | ssha 高值 | ssta var 高值 | ssha var 高值 | ssta 低值 |
| | 南 美 洲 右 邊 | R5 | 66-71 | 69-71 | 66-69 | 69-72 |
| R6 | | 65-71 | 68-69 | 65-67 | 68-73 | |
| R7 | | 63-71 | 68-71 | 63-67 | 63-65 | |
| R8 | | 65-72 | 未出現 | 65-69 | 不明顯 | |
| R9 | | 64-67 | 未出現 | 65-67 | 59-64 | |
| R10 | | 63-68 | 67-71 | 64-67 | 66-67 | |
| 南 美 洲 左 邊 | L7 | | | | | 未出現 |
| | L8 | | | | | 未出現 |
| | L9 | | | | | 72-74 |
| | L10 | | | | | 72-74 |

(月份編號 53-82，1997 年 5 月-1999 年 10 月)
(R5 中，R 表南美洲右邊，5 表編號五的地點，
L7 中，L 表南美洲左邊，7 表編號七的地點)

1. 「變化趨勢前段」結果：(見表八到表十)

(1) 在 A.B.C 三時間組的前半段，同時出現下列密集區，包含：在南美洲右岸出現海平面溫度異常(ssta)的高值密集區(表八到表十甲欄)、海平面高度異常(ssha)的高值密集區(乙欄)、海平面溫度異常變異度(ssta var)的高值密集區(丙欄)以及海平面高度異常變異度(ssha var)的高值密集區(丁欄)；另外，南美洲左岸海平面溫度異常(ssta)的低值密集區(戊欄)也約在此段時間出現。

(2) 詳細變化情形略有不同，大致上 A 組南美洲右邊的密集區由南邊先出現，如圖十二，亦可由表八得知，但 B 組、C 組較不易看到此趨勢。

| 月份 區域 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| R5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

圖十二：ssta 高值密集區（紅色表 ssta 高值密集），摘自附圖一

- (3)無論是在 A、B 或 C 組中，各地點以 R5~R7 變化趨勢最為明顯且規律，R8 則不甚明顯，可以從 R8 資料中常發生「未出現」或「不明顯」得知。
- (4)表中各事件以 ssha 高值較不明顯，經常未出現且不甚規律。

表九：B 組，「變化趨勢前段」出現極值密集區月份

| | | 極值密集月份 | | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 欄別 | | 甲欄 | 乙欄 | 丙欄 | 丁欄 | 戊欄 |
| 事件 區域 | | ssta 高值 | ssha 高值 | ssta var 高值 | ssha var 高值 | ssta 低值 |
| | 南 美 洲 右 邊 | R5 | 83-85 | 80-81 不明顯 | 84-87 | 未出現 |
| R6 | | 82-88 | 80-81 83-89 | 82-84 | 78-81 | |
| R7 | | 82-92 | 84-88 | 83-87 | 81-87 | |
| R8 | | 83-87 | 未出現 | 83-86 | 78-84 | |
| R9 | | 83-87 89-92 | 90-93 | 未出現 | 81-86 | |
| R10 | | 83-88 | 未出現 | 83-87 不明顯 | 81-84 | |
| 南 美 洲 左 邊 | L7 | | | | | 85-86 |
| | L8 | | | | | 85-86 |
| | L9 | | | | | 85-86 |
| | L10 | | | | | 85-86 88-89 |

(月份編號 73-104，1999 年 1 月-2001 年 8 月)
(R5 中，R 表南美洲右邊，5 表編號五的地點，
L7 中，L 表南美洲左邊，7 表編號七的地點)

表十：C 組，「變化趨勢前段」出現極值密集區月份

| | | 極值密集月份 | | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|------------|----------------|--------------------|-------------------|
| 欄別 | | 甲欄 | 乙欄 | 丙欄 | 丁欄 | 戊欄 |
| 事件 區域 | | ssta 高值 | ssha 高值 | ssta var 高值 | ssha var 高值 | ssta 低值 |
| | 南 美 洲 右 邊 | R5 | 102-117 | 104-109 | 99-106 | 99-102 104-108 |
| R6 | | 104-105 107-110 | 108-109 | 104-108 | 101-104 106-109 | |
| R7 | | 99-110 | 97-103 | 100-103 | 98-101 104-107 | |
| R8 | | 107-111 | 未出現 | 101-106 | 未出現 | |
| R9 | | 107-110 | 101-104 | 未出現 | 106-111 | |
| R10 | | 109-110 | 110-112 | 104-106 | 106-111 | |
| 南 美 洲 左 邊 | | L7 | | | | |
| | L8 | | | | | 未出現 |
| | L9 | | | | | 109-114 |
| | L10 | | | | | 未出現 |

(月份編號 97-117，2001 年 1 月-2002 年 9 月)
(R5 中，R 表南美洲右邊，5 表編號五的地點，
L7 中，L 表南美洲左邊，7 表編號七的地點)

2. 「變化趨勢前段」討論：

因為在 A.B.C 三時間組前段中，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，顯示此時在南美洲右岸一定區域範圍內(R5~R10)，海平面溫度、高度比平時高很多，且此二物理性質在單位時間內動盪比平常要大。而又比較 ssha var 高值密集區(丁欄)與同一地點之 ssta var 高值密集區(丙欄)後，發現上述高度的變動較早發生。

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，南美洲右邊的水位瞬時變得較低，於是南美洲右邊低緯區的暖水大量湧入來補注此時的空區，造成這些區域的海平面高度變大，又暖水的湧入亦使海平面高度產生較大的動盪，在湧入的暖水與這些區域原本較冷的海水混合後，溫度的動盪也接著變大，所以高度的動盪較溫度的動盪早發生一些，待暖水和冷水混合後出現水溫異常升高。

在此時間南美洲左邊的太平洋，因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，以致此時南美洲左邊海平面溫度出現一段時間的低值密集區。

結果中 R5~R7 的極值密集區變化趨勢最為明顯且規律，因此可推測渦流脫離引發上述南美洲右邊暖水的補入可能主要發生在 R5~R7(見圖十三標示紅色網底處)。另外，R8 的資料最不明顯，可能因為 R8 距陸地較近易受其影響。



圖十三

此外，海平面高度的資料可能因為易受表面洋流、風或地形影響而較不穩定，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。

3. 「變化趨勢後段」結果（見表十一到表十三）

表十一：A 組，
「變化趨勢後段」出現極值密集區月份

| | | 極值密集月份 | | |
|-----------------------|-----|------------|----------------|----------------|
| 欄別 | | 甲欄 | 乙欄 | 丙欄 |
| 事件 區域 | | ssta 低值 | ssha 低值 | ssta var 高值 |
| 南 美 洲 右 邊 | R5 | 73-74 | 未出現 | 72-76 |
| | R6 | 73-75 | 74-76 | 73-76 |
| | R7 | 73-74 | 75-76 78-79 | 73-78 |
| | R8 | 未出現 | 未出現 | 73-76 |
| | R9 | 73-74 | 未出現 | 69-72 |
| | R10 | 73-74 | 未出現 | 71-75 |

(月份編號 53-82, 1997 年 5 月-1999 年 10 月)
(R5 中, R 表南美洲右邊, 5 表編號五的地點)

- (1)即 A.B.C 三時間組後期，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(ssta)低值密集區(表十一到表十三甲欄)、高度異常(ssha)低值密集區(乙欄)，及溫度異常變異度(ssta var)的高值密集區(丙欄)。
- (2)上述同時出現的變化趨勢，詳細變化情形略有不同，大致上 C 組事件由南邊先發生，參考圖十四，亦可由 C 組(表十三)得知，而 A、B 兩組無法明顯看出。

(3)右 ssha 低值密集的發生在 A、B、C 三組
 中皆不穩定，尤其在位置偏南的 R8、R9、
 R10（見圖十三）經常未出現。

| 月份 區域 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 |
|----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| R10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

圖十四：ssta 低值密集區（藍色表 ssta 低值密集），摘自附圖一

(4)在 A、B、C 三組中都可以觀察得到右 ssta var 高值密集（丙欄）約較右
 ssta 低值密集（甲欄）早或同時發生。

表十二：B 組，變化趨勢後段
 「變化趨勢後段」出現極值密集區月份

| | | 極值密集月份 | | |
|-----------------------|-----|------------|------------|----------------|
| 欄別 | | 甲欄 | 乙欄 | 丙欄 |
| 事件 區域 | | ssta 低值 | ssha 低值 | ssta var 高值 |
| 南 美 洲 右 邊 | R5 | 91-92 | 91-92 | 91-95 |
| | R6 | 91-94 | 90-91 | 91-95 |
| | R7 | 95-98 | 93-95 | 93-95 |
| | R8 | 93-97 | 未出現 | 93-96 |
| | R9 | 95-101 | 未出現 | 95-98 |
| | R10 | 93-97 | 未出現 | 93-97 |

（月份編號 73-104，1999 年 1 月-2001 年 8 月）
 （R5 中，R 表南美洲右邊，5 表編號五的地點）

表十三：C 組，變化趨勢後段
 「變化趨勢後段」出現極值密集區月份

| | | 極值密集月份 | | |
|-----------------------|-----|------------|------------|----------------|
| 欄別 | | 甲欄 | 乙欄 | 丙欄 |
| 事件 區域 | | ssta 低值 | ssha 低值 | ssta var 高值 |
| 南 美 洲 右 邊 | R5 | 未出現 | 未出現 | 116-117 |
| | R6 | 未出現 | 112-113 | 113-114 |
| | R7 | 116-117 | 未出現 | 113-115 |
| | R8 | 115-117 | 未出現 | 113-117 |
| | R9 | 113-117 | 112-114 | 112-115 |
| | R10 | 113-117 | 未出現 | 111-115 |

（月份編號 97-117，2001 年 1 月-2002 年 9 月）
 （R5 中，R 表南美洲右邊，5 表編號五的地點）

4. 「變化趨勢後段」討論：

由於「變化趨勢後段」中南美洲右岸海平面同時出現了三種密集區：溫度異常(ssa)低值、高度異常(ssha)低值，溫度異常變異度(ssa var)高值，以渦流演化的想法來解釋此一現象，或可看成在「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，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，待混合均勻後，溫度即降低。

5. 「變化趨勢後段」結束後之結果（見附圖一）：

「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。

6. 「變化趨勢後段」結束後之討論：

以渦流演化來推測此時海水物理性質的改變時，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(可由實驗討論(4)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。

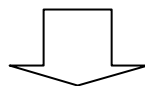
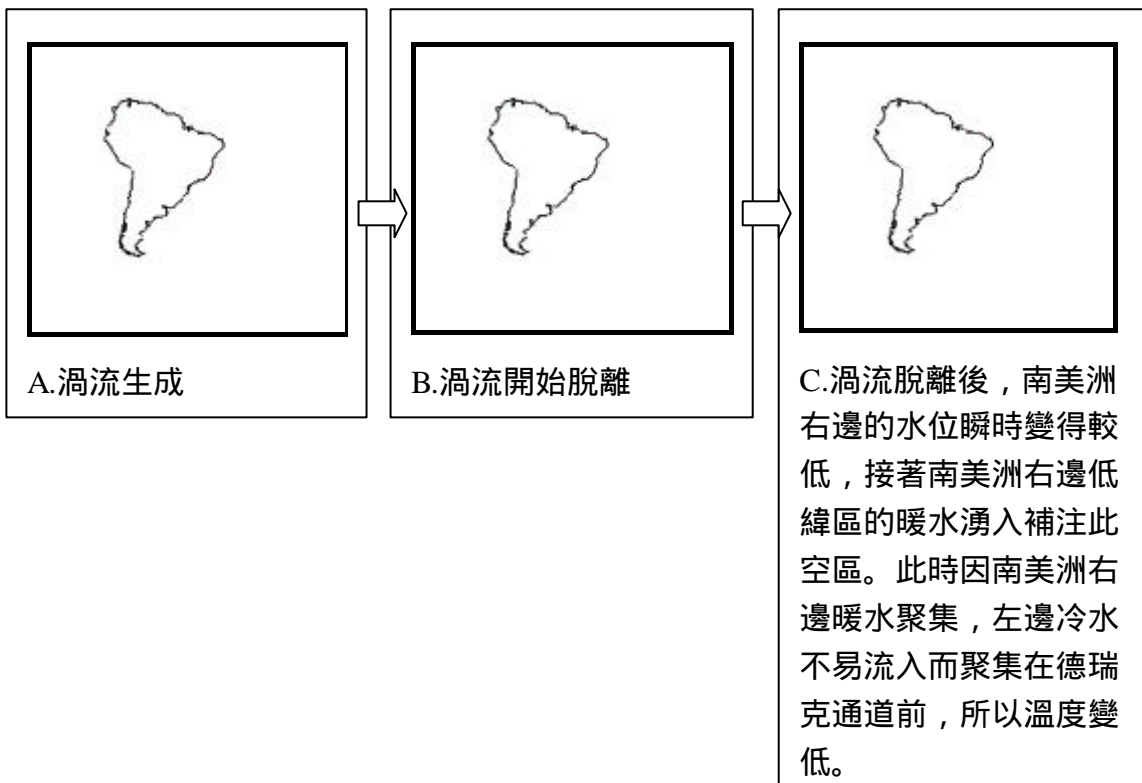
7.綜合討論

綜合上述所有事件製成以下事件發生流程圖

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

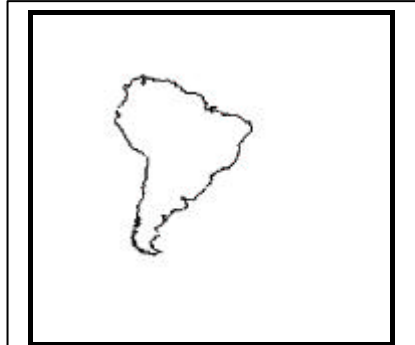


變化趨勢後段：

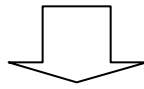
南美洲右岸：海平面溫度降低、海平面高度降低、海平面溫度變動大

南美洲左岸：未發生明顯變化

以渦流演化推測：



南美洲右邊聚集之暖水已消去，德瑞克通道左邊的冷流大量補入。



SOI 負值出現或聖嬰發生

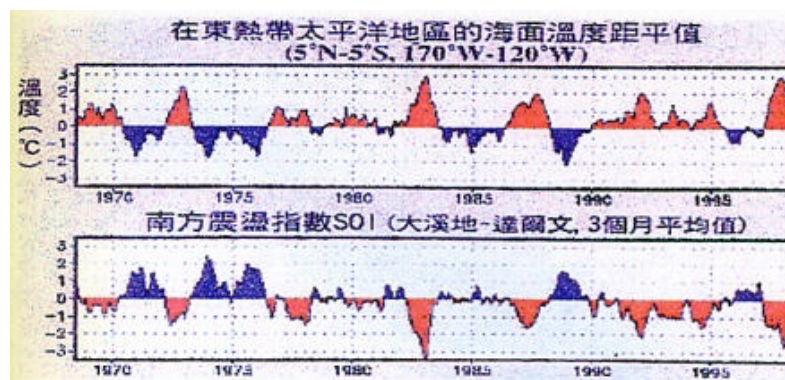
以渦流演化推測：由於受南美洲右邊海平面高度降低造成的吸力吸引，南美洲左邊的海水會經德瑞克通道向南美洲右邊湧入，而湧入的海水可能不只來自於南極繞極環流，還伴隨著一部分原來向低緯區流動的秘魯涼流，因此秘魯涼流的一部分海水會反向流動，導致秘魯涼流的減弱，於是 SOI 負值或聖嬰現象發生。

(三) 渦流脫離週期與 SOI 負值週期的結果與討論

若洋流通過德瑞克通道有形成渦流的條件，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，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 5cm/s 代入，可計算渦流脫離頻率 f ，得到渦流脫離週期($=1/f$)約為 3.2 年，與 1970 年以來聖嬰平均週期約 3.6 年相差不多。

而實際上在數據分析中，A、B、C 三時間組的 SOI 負值發生(含聖嬰)時間分別為 81、100、113，其中發生聖嬰時間距上次約 47 個月(即三年多)，這個結果和以方程式計算的結果相符，但在其中 SOI 較低但還不致造成聖嬰的 A、B 兩組間隔為 19 個月，B、C 兩組間隔為 13 個月(見附圖一)，這個結果推測是由澳洲南端與南極洲之間通道所形成渦流造成的影響，以史托爾公式計算，若寬度約 $2.4 * 10^8$ cm 代入，可得週期約為 9.02 年，因此週期和南美洲南端不同，或許會干擾南美洲南端渦流脫離週期，但因為只是干擾所以動力不強，SOI 值無法低於-1 而造成聖嬰。

總結以上所述，我認為，若真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；而聖嬰現象的發生週期與南美洲南端計算出之渦流脫離週期相當，亦可能是一個具規律性且正常(normal)的現象，而並非以往所被詮釋的不正常(abnormal)現象。



圖十五

(四) 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。

由於 SOI 值是在南美洲左邊的太平洋低緯區測定，若南美洲左邊的海水受右邊渦流脫離的影響後發生越大的變動，則 SOI 負值也會越低，也就是越容易發生聖嬰。

在「變化趨勢前段」中，A、B、C 三時間組內，南美洲左邊海平面溫度降低的程度即有差異：A 組發生的區域較少，且時間短，只出現了 2~3 個月（如表八）；B 組在南美洲左邊四個區域(L7~L10)皆發生、持續了 1~3 個月（如表九）；C 組雖未在每一區域發生，但其發生時間長，持續了 6~8 個月（如表十）。上述現象顯示 C 組中，南美洲右邊海水發生的物理性變化對南美洲左邊海水的影響時間最長，B 組其次，而 A 組則最小且時間短，這樣的差異或可以解釋 A、B、C 三時間組最後 SOI 負值的程度，或是發生聖嬰與否的問題。

伍、結論

- 一、流體通過障礙物之實驗結果顯示，通道寬度及流體的流速二變因為能否形成渦流的關鍵。
- 二、不同流速的水流經不同通道寬度後，渦流形成脫離的頻率與流速約呈線性關係。
- 三、觀察水槽實驗，發現渦流脫離瞬間會在障礙物後形成一低水位空區，之後其他地區水流會產生向此空區流入補充的趨勢，造成水位的動盪。
- 四、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。
- 五、由南美洲附近海水四種物理性質變化的極值密集區分析，發現三段時間內前後期趨勢不同。A.B.C 三時間組極值密集區「變化趨勢前期」出現的海平面高度及溫度變化分析，其結果可能對應到我們「渦流脫離觸發聖嬰」的想法，渦流脫離引發的南美洲右岸暖水湧入的現象。
- 六、經由分析 A、B、C 三時間組集值密集區變化趨勢後期之海平面物理性質，呈現的結果可對應到南美洲右岸海水高度下降引動左岸海水進入的現象，推測此時是觸發聖嬰的關鍵。
- 七、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 3.2 年，與 1970 年以來聖嬰平均週期約 3.6 年相差不多。
- 八、若以渦流的演化來解釋 SOI 負值發生的原因，那麼 SOI 負值的發生或許應該是一個規律性且正常 (normal) 的現象，並非以往所被詮釋的不正常 (abnormal) 現象。
- 九、當南美洲左邊的海水受右邊渦流脫離的影響後，發生越大的變動，可能導致 SOI 負值也會越低，推測此結果越可能觸發聖嬰。

陸、參考資料

- 一、International Research Institute for climate prediction
(<http://iridl.ldeo.columbia.edu>)
- 二、National Geophysical Data Center
(<http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>)
- 三、Atmospheric Analysis group
(<http://pacs.coas.oregonstate.edu>)
- 四、National Oceanographic data center
(<http://www.nodc.noaa.gov>)
- 五、National Aeronautics and Space Administration
(<http://search.nasa.gov/home/index.html>)
- 六、Department of Earth Sciences National Taiwan Normal University
(<http://www.geos.ntnu.edu.tw>)
- 七、National Environmental Satellite Data and information service
(<http://www.nesdis.noaa.gov>)
- 八、Netherlands Centre for Climate Research(<http://www.knmi.com>)
- 九、Earth and Space research(<http://www.esr.org>)
- 十、基礎地球科學，王執民主編，龍騰文化事業股份有限公司，110~113 頁