

國立台灣師範大學海洋環境科學研究所碩士班碩士論文

指導教授：洪志誠 博士

共同指導：陳正達 博士

1991-1995 長聖嬰個案診斷分析

A diagnosis of the prolonged El Niño event
during 1991-1995

研究生：徐尉傑 撰

中華民國一百年十二月

致謝

在海環所兩年半的學習過程，隨著論文的付梓，即將劃上句點，這段時間以來感謝指導教授洪志誠博士悉心的教導使我在這些年中獲益匪淺，儘管我有時迷失了方向，老師能耐心的給予幫助，在這裡要非常謝謝洪老師的細心付出與包容接納，讓我順利到達目標。

也要謝謝四位口試委員陳正達老師、吳朝容老師、隋中興老師、許晃雄老師，在百忙之中不辭辛勞給予我許多的建議與幫助，讓這份論文更為完整。

感謝研究室中學長姐、同學、學弟妹的共同砥礪，讓我兩年半的研究生生活遇到瓶頸時，幫助我，拉我一把，真的非常的謝謝你們。最後，感謝爸爸媽媽，在遇到挫折時幫我加油打氣，自升大學之後就離開了家鄉，選擇了從小就很仰慕的台北生活，一直供給我衣食無缺的環境到研究所，並讓我能完成碩士學位，謝謝爸爸、謝謝媽媽。

目錄

| | |
|--------------------------------|------|
| 致謝..... | II |
| 目錄..... | III |
| 摘要..... | V |
| 表目錄..... | VII |
| 圖目錄..... | VIII |
| 第一章 前言..... | 1 |
| 第一節 聖嬰定義..... | 2 |
| 第二節 ENSO 與全球暖化及年代際變化之關係..... | 3 |
| 第三節 ENSO 的生命週期..... | 5 |
| 第四節 研究動機與目的..... | 6 |
| 第二章 資料分析與公式介紹..... | 8 |
| 第一節 使用的資料..... | 8 |
| 第二節 趨勢線與八年滑動平均計算..... | 9 |
| 第三節 熱量收支計算..... | 11 |
| 第三章 1991-1995 長聖嬰與典型聖嬰之比較..... | 13 |
| 第一節 海溫與大氣環流的比較..... | 13 |
| 第二節 海洋表層與海流之比較..... | 17 |

| | |
|------------------------|----|
| 第三節 小結 | 20 |
| 第四章 暖化趨勢及年代際變化的影響..... | 21 |
| 第一節 線性暖化趨勢影響 | 21 |
| 第二節 年代際變化因素 | 23 |
| 第三節 小結 | 25 |
| 第五章 混合層熱量收支分析 | 27 |
| 第一節 熱量收支..... | 27 |
| 第二節 年代際變化對熱量收支的調整..... | 30 |
| 第三節 GODAS 比較 | 35 |
| 第四節 小結 | 36 |
| 第六章 結果與討論..... | 37 |
| 結果 | 37 |
| 討論 | 39 |
| 參考文獻 | 42 |
| 附表..... | 48 |
| 附圖..... | 54 |

摘要

聖嬰現象的周期一般為 1-2 年，1991-1995 年出現長達五年的聖嬰，是過去百年觀測紀錄最長的聖嬰個案。目前雖然已有些研究探討此個案，但此長生命聖嬰現象如何維持？全球暖化或太平洋年代際變化與此個案的關係？目前尚無清楚的答案。本研究主要利用 SODA (Simple Ocean Data Assimilation) 2.0.2 觀測資料以及濾波方法探討全球暖化與太平洋年代際變化對 1991-1995 聖嬰個案的影響，並透過混合層熱量收支了解此長聖嬰個案維持的物理機制。

從海洋垂直結構與大氣環流發現此聖嬰為中太平洋型聖嬰與東太平洋聖嬰兩類型聖嬰的混合，前期 (1991-1992) 大氣與海洋結構近似東太平洋型聖嬰，後期 (1993-1995) 類似中太平洋型聖嬰。濾波分析顯示太平洋年代際變化對此聖嬰週期的延續具關鍵性影響，但全球暖化線性增溫的影響則不明顯。混合層熱量收支得到太平洋年代際變化主要透過氣候平均垂直運動之垂直溫度平流項 ($-\bar{w}\frac{\partial T'}{\partial z}$) 與氣候平均緯向運動之南北向溫度平流項 ($-\bar{v}\frac{\partial T'}{\partial y}$) 延長此聖嬰的周期。

關鍵字：長週期聖嬰、全球暖化、年代際變化、混合層熱量收支

Abstract

A record-breaking unusual prolonged El Niño event was identified during 1991-1995. While many previous studies had devoted the duration of ENSO (El Niño and Southern Oscillation), the physical mechanisms associated with this longlife El Niño is still unclear. A mixed layer heat budget is conducted to specify the physical processes to maintain the prolonged El Niño event by diagnosing the SODA (Simple Ocean Data Assimilation) 2.0.2 data. The relative contribution of decadal variation (≥ 8 years) and linear warming trend to the duration of 1991-1995 El Niño is particularly focused on in this study.

The spatiotemporal evolution of the large-scale oceanic and atmospheric condition reveals that the 1991-1995 El Niño is likely a mixed of the Central-Pacific (CP) and Eastern-Pacific (EP) types of El Niño, which resembles the EP El Niño during 1991-1992 and CP El Niño for the other else. It was found that the decadal variation is tightly related with the duration of 1991-1995 event, whereas, the influence of the linear warm trend is insignificant. The mixed layer heat budget further suggests that the decadal variation tend to prolong the El Niño duration through the vertical temperature advection ($-\bar{w}\frac{\partial T'}{\partial z}$) and meridional temperature advection ($-\bar{v}\frac{\partial T'}{\partial y}$) by the climatologically mean vertical and meridional velocity respectively.

Key word: ENSO · Mixed layer heat budget · Decadal variation · linear warming trend

表目錄

| | |
|--|----|
| 表 3.1: Niño 各個區域海溫最大値之時間與異常海溫值。 | 48 |
| 表 5.1: 參照圖 5.1 的統計表格。 | 48 |
| 表 5.2: 第一次消散期，水平溫度平流項與垂直溫度平流項對混合層溫度趨勢的貢獻度。(第一階段消散期 Feb1992-Aug1992) | 49 |
| 表 5.3: 同表 5.2 但為第二次消散貢獻度。(第二階段消散期 Jun1993-Jan1994) | 49 |
| 表 5.4: 同表 5.2，但為第一次成長 | 50 |
| 表 5.5: 同表 5.2，但為第二次成長 | 50 |
| 表 5.6: 同表 5.2，但為第三次成長 | 50 |
| 表 5.7: 同表 5.2，但為第三次消散 | 51 |
| 表 6.1: 1991 到 1995 年(長生命週期聖嬰)與 1997 年(典型聖嬰)之發展、成熟、消散期，括弧裡數字為持續的時間，單位為月份。 | 51 |
| 表 6.2: 同表 6.1，但為海溫最大値、西風異常、海表面高度之差異。括弧裡的數字表示跨年。 | 52 |
| 表 6.3: 同表 6.2，但為 Niño3、Niño3.4、Niño4 各區域 20°C 深度線。單位公尺。 | 53 |

圖目錄

- 圖 1.1: Niño3.4 海溫的時間序列圖, HadISST 時間從 1948 至 2008 (color bar) 和 OISST1982 至 2008 (黑線)。聖嬰與反聖嬰分別以 0 值線為中心向上的為紅色 (聖嬰) 向下為藍色 (反聖嬰), 而利用 HadISST data 算出 0.94 (正負) 標準差 (摘自 Okumura and Deser 2010)。 54
- 圖 1.2: 理想化的狀態下, 受風應力影響下赤道向東移動是 Kelvin wave (紅色和橙色) 和向西則是 Rossby wave (摘自 Weisberg and Wang, 1997)。 55
- 圖 2.1a: SODA2.0.2 資料 Niño3.4 區域海表面溫度時間序列圖, Jan1958 至 Dec2007。b: 同 a 扣除海溫線性趨勢線之結果。(橫軸時間序列, 縱軸海溫異常值, 黑色線表示海溫, 紅色線表示線性趨勢值) 56
- 圖 2.2: Niño3.4 區域海表面溫度平均之時間序列圖, 紅色陰影代表正距平, 藍色代表負距平, 黑色實線代表之低頻訊號 (八年以上)。縱軸左邊是海表面溫度距平、右邊是經過低頻濾波 (八年以上) 海溫距平。 57
- 圖 3.1: 海表面溫度 (陰影) 與海表面高度 (等值線) 水平圖, 等直線

間距為 0.3 公尺。(a) Apr1991-May1991、(b) Jun1991-Jul1991
 (c) Aug1991-Sep1991、(d) Oct1991-Nov1991、(e)
 Dec1991-Jan1992、(f)Feb1992-Mar1992、(g)Apr1992-May1992、
 (h) Jun1992-Jul1992。.....58

圖 3.2:同圖 3.1,但分別為(a)Aug1992-Sep1992、(b)Oct1992-Nov1992、
 (c) Dec1992-Jan1993、(d) Feb1993-Mar1993、(e)
 Apr1993-May1993、(f)Jun1993-Jul1993、(g) Aug1993-Sep1993、
 (h) Oct1993-Nov1993。.....59

圖 3.3: 同圖 3.1,但分別為 (a) Dec1993-Jan1994、(b)
 Feb1994-Mar1994、(c)Apr1994-May1994、(d)Jun1994-Jul1994、
 (e) Aug1994-Sep1994、(f) Oct1994-Nov1994、(g)
 Dec1994-Jan1995、(h)Feb1995-Mar1995、(i)Apr1995-May1995、
 (j) Jun1995-Jul1995。.....60

圖 3.4: 同圖 3.1,但分別為(a)Mar1997-Apr1997、(b)May1997-Jun1997、
 (c) Jul1997-aug1997、(d) Sep1997-Oct1997、(e)
 Nov1997-Dec1997、(f)Jan1997-Feb1998、(g)Mar1998-Apr1998、
 (h) May1998-Jun1998。.....61

圖 3.5a: 5S 到 5N 之海表面溫度莫哈圖, Jan1991 到 Dec1998, 最大最
 小值為-2 到 3.5, 等直線間距 0.5 單位 $^{\circ}\text{C}$ 。b:同 a, 但為海表面緯

向風切，等直線間距 0.05 單位，單位 N/m^2 。 62

圖 3.6: Niño3、3.4、4 各區域海表面溫度之平均之時間序列圖，橫軸時間從 Jan1991 到 Dec1998，縱軸海溫異常值，紅色代表 Niño3、綠色 Niño3.4、藍色 Niño4。 63

圖 3.7: 時間平均水平圖，陰影為海溫，箭頭為風場，等值線間距為 0.3 公尺。(a) Sep1991-Dec1991、(b) Jan1992-Mar1992、(c)

Apr1992-Aug1992、(d) Sep1992-Mar1993、(e) Apr1993-Jun1993、

(f) Jun1992-Jan1993、(g) Feb1994-Sep1994、(h) Oct1994-Dec1994、

(i) Jan1995-Apr1995、(j) Mar1997-Sep1997、(k) Oct1997-Dec1997、

(l) Jan1998-Jul1998。 64

圖 3.8: 利用 NOAA 風場資料畫出 1000 百帕之時間平均各消散期的輻

散場，以成熟期為起始月，每兩個月做一次平均，每期共三張，

等值線間距為 0.5 (a) Feb1992-Mar1992 (b) Apr1992-May1992

(c) Jun1992-Jul1992 (d) May1993-jun1993 (e) Jul1993-Aug1993

(f) Sep1993-Oct1993 (g) Nov1993-Dec1993 (h) Nov1994-Dec1994

(i) Jan1995-Feb1995 (j) Mar1995-Apr1995 (k) Nov1997-Dec1997

(l) Jan1998-Feb1998 (m) Mar1998-Apr1998。 65

圖 3.9: 同圖 3.7，但為垂直剖面圖的洋流（箭頭） $5^{\circ}S \sim 5^{\circ}N$ 與海溫（陰

影）平均，深度 0 到 200 公尺，東經 130 度到西經 80 度， $20^{\circ}C$

| | |
|--|----|
| 海溫等值線 (綠色實際值; 白色氣候值), 等直線間距為 0.5°C。 | 66 |
| 圖 3.10.同圖, 但為 3.9g~l。..... | 67 |
| 圖 4.1:表 1991、1992、1994 之成熟期的海表面溫度水平圖, 等值線 間距為 0.3°C, a~c 是原始資料, 時間 Jan1991-Mar1992、d~f 是 扣除線性趨勢, 時間是 Apr1993-Jun1993, g~i 是扣除低頻訊號(八 年以上), 時間是 Oct1994-Dec1994。..... | 68 |
| 圖 4.2.時間為 1991 與 1993 消散期 (Mar1992-Aug1992、 Jul1993-Jan1994), 等值線間距為 0.3°C, a~b 為原始資料海表面 溫度, c~d 扣除暖化趨勢, e~f 扣除低頻訊號 (八年以上) 資料。 | 69 |
| 圖 4.3:各 Niño 區域的海表面溫度, 時間為 Jan1991 到 Dec1998, 紅色 為原始資料、綠色為扣除趨勢之資料、藍色線為八年以下訊號資 料。a: 為 Niño4。b:為 Niño3.4。c:為 Niño3。..... | 70 |
| 圖 4.4:同圖 4.3, 但黑色表示為年代際震盪, 紅色為正相位海溫, 藍 色為負相位海溫。a:為 Niño4。b:為 Niño3.4。c 為 Niño3.4。.. | 71 |
| 圖 4.5:5S 到 5N 之緯向風切莫哈圖..... | 72 |
| 圖 5.1:2S 到 2N 原始資料海溫加熱項之莫哈圖, 時間 Jan1991 到 Dec1995。a:原始資料, 等值線間距為 0.3°C。b:八年以下資料, 等值線間距為 0.3°C。c:為 a 減 b, 等值線間距為 0.005°C。.... | 73 |

| | |
|---|----|
| 圖 5.2: Niño3.4 溫度趨勢之時間序列圖, Aug1991-May1995。(2S~2N)。 | 74 |
| 圖 5.3: 海洋平流項的時間序列圖, Jan1991 到 Dec1995, 藍色是原始資料、紅色是去除低頻訊號(八年以上)的資料, 實線為海洋平流項, 虛線為大氣項, 2S~2N。a: Niño4。為 b: 為 Niño3.4。c: 為 Niño3。 | 75 |
| 圖 5.4: 用熱量收支分析從左到右分別為溫度變化趨勢值 (trend)、大氣熱通量 (w/m^2)、海洋平流項 (adv) 的值 ($^{\circ}C/month$)、大氣加海洋總值與殘餘項, a 到 c 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 的 2S~2N 第一次消散 (Feb1992 到 Aug1992) 區域平均, d 到 f 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 區域的第二次消散 (Jun1993 到 Jan1994)。 | 76 |
| 圖 5.5a~b: 分別為第一次成長、消散的 | 77 |
| 圖 5.6: 同圖 5.4, 但從左到右分別為溫度變化趨勢值 (trend)、東西向的溫度平流項 (u)、南北向的溫度平流向 (v)、垂直向的溫度平流項 (w)、大氣熱通量 (w/m^2)、海洋平流項 (adv) 的值 ($^{\circ}C/month$) 與大氣加海洋總值, a 到 c 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 的 2S~2N 第一次消散 (Feb1992 到 Aug1992) 區域平均, d 到 f 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 區域的第二次消散 (Jun1993 到 Jan1994)。參考第二章 (2) 式。 | 78 |
| 圖 5.7: 同圖 5.6 但為各項再細分三項的原始資料減去八年以下資料, | |

$-\bar{u}'\frac{\partial T'}{\partial x}$ (以下簡稱 u1)、 $-u'\frac{\partial \bar{T}}{\partial x}$ (以下簡稱 u2)、 $-u'\frac{\partial T'}{\partial x}$ (以下
 簡稱 u3)、 $-\bar{v}'\frac{\partial T'}{\partial y}$ (以下簡稱 v1)、 $-v'\frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$ (以下簡稱 v2)、
 $-v'\frac{\partial T'}{\partial y}$ (以下簡稱 v3)、 $-\bar{w}'\frac{\partial T'}{\partial z}$ (以下簡稱 w1)、 $-w'\frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$ (以
 下簡稱 w2)、 $-w'\frac{\partial T'}{\partial z}$ (以下簡稱 w3)，各 9 項及海洋總項，紅色
 色階為大於 0 的值，藍色色階為小於 0 的值。..... 79

圖 5.8: 第一次消散期之熱量收支 u、v、w 各項百分比貢獻度統計圖。

a: 第一次消散期。b: 第二次消散期。..... 80

圖 5.9: Niño3 的 w1 的經度剖面、陰影為異常值溫度 (°C)，等值線間
 距為 0.2°C、箭頭為氣候值的垂直及經度方向的海流 (m/s)，a
 表示原始資料，b 表示慮波後的資料，c 表示 a-b。(w1 可參考圖
 5.7) 81

圖 5.10: 同圖 5.9 但為 Niño4 的 u2。(參考圖 5.7) 82

圖 5.11: 同圖 5.10 但為 v1、v3。(參考圖 5.7) 83

圖 5.12: 區域範圍為 Niño3，時間為 Jun1993 到 Jan1994。a~c 為 Niño3
 的 u1 的緯度剖面、陰影為異常值海溫 (°C)，等值線間距為 0.2
 °C、箭頭為氣候值的垂直及經度方向的海流 (m/s)，a 表示原始
 資料，b 表示慮波後的資料，c 表示 a-b。(參考圖 5.7) 84

圖 5.13: 同圖 5.11 但為 w1、w3。(參考圖 5.7) 85

圖 5.14: 同 5.12 但為 Niño4 區域 u2。(參考圖 5.7) 86

| | |
|---|----|
| 圖 5.15: 同 5.12 但為 Niño4 區域 v1。(參考圖 5.7) | 87 |
| 圖 5.16 同 5.14a~c 但為 u3。d~f 是 w2。(參考圖 5.7) | 88 |
| 圖 5.17:同圖 4.5 但為 GODAS 資料，時間從 Jan1980 到 Sep2008 的 Niño3.4。 | 89 |
| 圖 5.18:同圖 5.1 但為 SODA 資料的海表面異常值溫度之莫哈圖。a: 原始資料，b:八年以下資料，c:a-b。 | 90 |
| 圖 5.19:同圖 5.16 但為 GODAS 資料的海表面異常值溫度之莫哈圖。 a:原始資料，b:八年以下資料，c:a-b。 | 91 |
| 圖 6.1:同圖 4.4 但時間區間為 Jan2002 到 Dec2005。 | 92 |
| 圖 6.2: 時間範圍從 Jan1950 到 Dec2010， 黑色:年代際震盪（右邊縱 軸），紅色:正相位海溫，藍色:負相位海溫（左邊縱軸），單位 $^{\circ}\text{C}$ 。 | 93 |
| 圖 6.3:同 5.1 但時間為 Jan2002 年到 Dec2005 的海表面溫度莫哈圖。 | 94 |
| 圖 6.4:海表面溫度時間序列圖，陰影是 SSTa，綠色表示 EOF 分析的 PC1（36.9%），藍色表示 PC2（23.3%）主分量。 | 95 |
| 圖 6.5:a:PC1 的模之水平圖 b:為主分量。 | 96 |
| 圖 6.6:同圖 6.5 但為 PC2 的模（a）與主分量（b）水平圖。 | 97 |
| 圖 6.7: 同圖 5.15 但時間資料為 Jan1976~Dec2005 氣候值減 Jan1958~Dec1975 氣候值的海流，陰影為原始資料的異常值海溫 | |

(等直線間距為 0.2)，a 同圖 5.10a~c。b:同圖 5.15。.....98

圖 6.8: 同圖 6.7 但時間資料為整年的氣候值相減。a:同圖 4.1，但加上風切場。b:同圖 6.8.a，但為垂直頗面，箭頭同圖 5.12。.....99

第一章 前言

一般聖嬰現象的生命週期大約只有一到二年的時間，但資料顯示 1990 年之後，聖嬰生命週期有增長的現象 (Okumura and Deser, 2010) (圖 1.1)。此外，Kumar et al. (1994) 與 Graham (1995) 的研究注意到 1976 年前後全球表面溫度也有顯著的變化，此氣候變化似乎與 1976 年後聖嬰事件發生頻率增加生命週期延長有關 (Trenberth, 1996)。1991-1995 出現近百年的聖嬰現象，此聖嬰現象為何持續如此長久，科學上至今仍無明確的答案。

Trenberth (1996) 針對 1990-1995 年長聖嬰現象作了一些分析，他懷疑此長聖嬰與南方震盪 (Southern Oscillation, SO) 出現顯著的年代際訊號有關。其研究是以 SO-index，透過 ARMA 模式 (Auto-Regressive and Moving Average Model) 來預報聖嬰。該研究發現，1990s SO-index 的年代際訊號，並無法準確預測出 1990-1995 個案的發生，根據此結論，Trenberth 認為此長聖嬰可能與大氣—海洋的低頻震盪 (年代際變化) 關係不大，推測可能是全球暖化或是一些人為的因素所造成。至於全球暖化與此長聖嬰的關聯否該文並未作討論。

1991-1995 長聖嬰的維持至今仍是未解的科學問題，本研究嘗試

以濾波方法以及混合層熱量收支探討 1991-1995 聖個案，太平洋年代際變化以及全球暖化對此長聖嬰的影響？此長聖嬰維持的物理機制則是本研究的重點。

第一節 聖嬰定義

一、 原理

「聖嬰-南方震盪」(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)，它是發生在赤道東太平洋上方一種地區性的現象，但陸續的研究指出聖嬰竟可以影響全球的氣候。關於聖嬰發現最早可以追溯到二十世紀初由 Walker 在達爾文以及大溪地上方的氣壓會相互影響，並在東西太平洋上方會有周期性的年際氣壓變化，稱此變化為南方震盪 (Southern Oscillation) (Walker, 1923, 1924, 1928; Walker and Bliss, 1932, 1937)；到了二十世紀中 Bjerknes (1969, 1972) 研究發現現南方振盪指數 (Southern Oscillation Index, SOI; SLPTahiti – SLPDarwin) 和聖嬰現象兩者有反相位的關係也是海洋與大氣交互作用之一體的兩面，所並稱它叫作聖嬰現象。

二、 機制

在一般情況下赤道上吹東風並會有沃克環流的情形 (Bjerknes, 1969)，但聖嬰發生時赤道上會有西風異常產生，使東太平洋上累積

異常溫暖的海溫，並產生低氣壓與西太平洋高壓生成相反的沃克環流，這樣造成海底下平流層之異常值是由西向東流動的異常現象，並且溫躍層從原本的西高東低變成較平緩的情況，當西太平洋上吹西風時使海洋會有一個向東傳的 Kelvin Wave 以及向西的 Rossby Wave(圖 1.2) (Weisberg and Wang, 1997)，向東的 Kelvin Wave 會抑制東太平洋湧升流導致無法將海底的冷海水向上傳帶，也使的東太平洋的斜溫層 (Thermocline) 變深變厚。從開始到生成到 Kelvin Wave 傳至東太平洋區間我們稱為成長期，而向左傳的 Rossby Wave 會因撞至西太平洋而反彈去東太平洋，直到東太平洋的暖海溫被反彈的 Rossby Wave 互相抵制，這段時間稱為消散期，而成長期與消散期之劃分我們稱為成熟期。

第二節 ENSO 與全球暖化及年代際變化之關係

近代由於在資料記錄上聖嬰發生的事件越來越多且長，學者們開始懷疑是否是受到全球暖化因素影響，Timmermann et al. (1999) 研究裡分別進行兩組實驗，第一組是固定現今大氣中溫室氣體濃度，第二組是根據 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 裡的 IS92 資料分析發現未來聖嬰受到全球暖化的影響未來的發生聖嬰事件會越來越強海溫對大值也會越來越高 (Roeckner et al., 1999)。An et al. (2008) 分析 IPCC AR4 模式模擬也注意到熱帶太平洋地區的海表

層與次表層海溫對於受到暖化之反應時間不同，造成次表層海水增溫速率小於表層增溫，導致垂直方向的溫度梯度增強。之後再 Yang and Zhang (2008) 根據上述結果做進一步的研究，他們利用 FOAM (Fast Ocean Atmosphere Model) 進行二氧化碳增量實驗，發現當二氧化碳停止增加時，表層的海水溫度增加率反而小於次表層的海水，且次表層海水仍然維持溫度上升的趨勢，可知海洋在氣候上的改變持續時間遠比大氣長，也發現海洋內部垂直物理機制之重要性。

另外注意到一個較長周期的大氣海洋交互作用現象他們定義為「年代際震盪」(Decadal Oscillation) (Mantua, 1997)。年代際震盪包含相當多領域，包含了大氣、海洋、雨量等，但近期發現與聖嬰相關性較高的 Pacific Decadal Oscillation (PDO) 是週期約 15~20 年的氣候現象，狀態類似聖嬰現象的海溫位移。現在，NASA 及 UCLA 的科學家發現第二個週期更長的 PDO，週期大約 70 年。Yi et al.(2000) 利用過去 92 年的太平洋海表面溫度，得到第二個 PDO 存在的證明。在他們的研究中，Yi 及他的同事發現發現在太平洋的大尺度溫度振盪週期約 15~20 年。然而，除了這的規則且相對來講週期較短的波動，Yi 也發現另一個較長週期（約 70 年）的溫度位移的證據。在 1930 年代，海表面溫度似乎緩慢下降，在 1970 年代又逐漸升高，然後又開始另一次海溫的降低，直到現在。而 PDO 主要影響在中緯度，熱

帶屬於次要反應區，其 ENSO 主要發生在熱帶，中緯度反而是次要。而在先前研究 ENSO 與 PDO 的關係認為年代震盪起源於中緯度地區，透過上層海洋環流熱傳輸影響到熱帶地區 (Kleeman et al. 1999)，也有研究顯示不需要海洋內部動力調節過程，僅靠大氣海洋介面交互作用即可產生年代變化特徵 (An and Wang 2000)，而在 Mantua (1997) 的研究中也已發現 PDO 與 SST 之相關性，在 PDO 暖 (冷) 期，熱帶東太平洋海溫偏高 (低)，北太平洋海溫則顯著降低 (升高)，與聖嬰成熟期之海溫距平相似，對應之大氣風場和氣壓場也和南方震盪相仿。

第三節 ENSO 的生命週期

一般的聖嬰生命週期大概只維持一到二年的時間，但在近年來聖嬰在 1991 到 1995 與 2002 到 2005 年都有長時間正相位的海溫，在 Okumura and Deser (2010) 裡的研究結果發現 1990 年以前聖嬰較短，1990 年以後聖嬰開始出現較長的生命週期的情形產生；然而，聖嬰除了會讓太平洋異常變冷的反聖嬰 (La Niña) 之外，近代發現聖嬰本身就有兩種不同的型態，可依形成之位置或物理機制來定義聖嬰現象，大致上可以分成兩類，當海表溫異常值最大位在於東太平洋稱作 EP (Eastern Pacific El Niño) 型聖嬰，而異常值偏中赤道近換日線的型態稱作 CP (Center Pacific El Niño) 型聖嬰 (Kao and Yu, 2008)，

之後，Kug et al. (2009) 研究結果發現 CP 型生命週期較長，也直接指出 1991-1995 是個 CP 型的聖嬰現象。

在先前 Trenbert (1996) 的研究裡已有對 1990~1995 這段區間的海溫做研究，發現在 1976 年時 SOI (Southern Oscillatino Index) 的十一年滑動平均線相位相異，在 1976 年之後是負相位的情況，也發現 1976 年之後聖嬰變多，並得出 1990 到 1995 年的海溫是受到 SOI 因素影響的其中之一，但研究中並無明確且深入與線性暖化趨勢或者是年代際變化來做相關討論。

第四節 研究動機與目的

一、 科學上的問題

雖然在先前 Trenberth (1996) 已對 1990-1995 長生命週期聖嬰做了大氣與海表面海溫統計分析探討，但結果裡沒有對全球暖化或是年代際變化做詳細的研究，而本研究主要重點觀察 1991 到 1995 年這段長生命週期的聖嬰現象，除了海表面溫度與大氣環流之外，本研究還另作垂直環流及次表層的演變的分析，爾後，目前也沒有利用熱量收支的方式對 1991 到 1995 年的長周期生命聖嬰現象和近代較關心的全球暖化或是跟聖嬰現象相似但較低頻的年代際變化做詳細深入的探討。

二、 研究重點

因此，本研究主要可以分三大主要探討方向：

1. 1991 到 1995 年長生命週期之聖嬰現象的大氣海洋結構？
2. 全球暖化與年代際變化對此聖嬰造成的影響？
3. 利用混合層的方式探討長聖嬰現象期物理機制變化？

本研究在大氣環流與海洋結構的研究裡，選了近代較為典型的 1997 年聖嬰來相做比較。

三、 本文架構

本論文主要先介紹聖嬰的現象、影響、過去相關研究以及研究動機與目的，第二章在介紹本文使用的資料內容與來源，並說明資料處理分析的公式以及方法。第三章進入主題，採用 SODA (Simply Ocean Data Assimilation) 2.0.2 為資料做分析，先與近代較典型聖嬰 1997 做大氣環流上海表面海溫變化與海下垂直環流及次表層做互相比較之觀察差異，第四章在專注分析再 1991 到 1995 這段長生命週期聖嬰受到全球暖化和年代際變化的影響差異，第五章在利用熱量收支方式分析探討這段長生命週期聖嬰現象的的物理機制受到調節後的變化。最後在第六章做個總結。

第二章 資料分析與公式介紹

第一節 使用的資料

本研究所主要使用的數據資料是從美國國家海洋及大氣管理局 (The National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 提供之 Simple Ocean Data Assimilation (SODA) 海洋同化資料 (Carton et al. 2008) 作為本研究數據的主要來源，版本為 2.0.2。SODA 是利用海洋資料同化 (Parallel Ocean Program, POP; Dukowicz and Smith 1994) 所製成水平之解析度 0.4 (經度) 乘 0.25 (緯度)，而向海底延伸下垂直數據有四十層。該資料加入了 ERA-40 (ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Newsletter No 101) 風場及海洋觀測資料同化之後統計最後之涵蓋時間範圍由 1958 年 1 月至 2007 年 12 月，且為月平均 (monthly) 資料，在加上空間解析度為 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，垂直方向總共分為四十層，由海面下 5~5375 公尺 (非等間距)。研究中所使用的變數包括海水溫度 (temp, 單位 $^{\circ}\text{C}$)，海洋經向流速 (u, 單位 m/s)，緯向流速 (v, 單位 m/s)，海洋垂直向流速 (w, 單位 m/s)，緯向風風應力 (taux, 單位 N/m^2)，經向風風應力 (tauy, 單位 N/m^2) 以及海平面高度 (ssh, 單位 m)。

第二組比對的海洋資料是採用為 1950-2010 年的 Hadley Centre

Sea Ice and SST data set (以下簡稱 HadISST) (Rayner, 2002) 的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、月解析度資料。另外也搭配使用 Extended Reconstruction of global Sea Surface Temperature version 3 (ERSST.adv-v3) (Smith and Reynolds 2004a) 月平均海平面溫度場，水平解析度為 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。

第三組比對的海洋資料是 NCEP 的 Global Ocean Data Assimilation System (GODAS)，是使用地球物理流體動力學實驗室模組化的海洋模式版本 MOM.adv-v3 的三維變化資料。

第二節 趨勢線與八年滑動平均計算

本研究為了探討全球暖化之影響相關，利用線性迴歸的方式計算背景值，並使用 SODA 資料的時間選取範圍為 Jan1958 至 Dec2007。

一、趨勢線計算方法

圖 2.1a 是海表面溫度 Niño3.4 區域南北緯五度之時間序列圖 (1958 年 1 月至 2007 年 12 月) 圖中之綠色的線表示圖表的線性趨勢線 ($y=Ax+B$)，從此線可以發現從 1958 年到 2005 年斜率為正表是說海表溫有逐漸增高的趨勢，為了想了解受到暖化趨勢之影響所以把原始資料扣除線性趨勢值 (圖 2.1b)，所得的資訊可以知道在沒有受到線性暖化的趨勢下的變化。

二、 計算年代際震盪方法

由上敘介紹過線性暖化影響公式之後，現在要介紹如何計算年代際變化的分析方式，方法是使用 IMSL Fortran 程式庫，利用傅立葉轉換把頻率較低的訊號濾掉後的資料：

$$f(t) = A_0 + A_{n/2} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n/2-1} |A_i| \cos\left(\frac{2\pi it}{n} + \sigma_i\right) \quad \text{for } t = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (1)$$

式 (1) 中 i 表示為頻率，此 $f(t)$ 方程是以 $n/2$ 個 cosine 函數所構成，頻率為 i ， $i = 0, 1, 2, \dots, \frac{n}{2} - 1$ ，每一個函數的大小是 $|A_i|$ ， $|A_i|$ 值越大，表示此頻率為 i 的 cosine 函數份量很大， $|A_i|$ 小，表此頻率為 i 的 cosine 函數值對整體影響較小，而在本研究為了專注在較高頻的訊號，所以約八年以上的資料就沒加入。時間一樣從 Jan1958 到 Dec2007，此資料就設定為未受到年代際變化的資料。

三、 經驗正交函數 (Empirical Orthogonal Function, EOF)

所謂經驗正交函數就是利用樣本數的變異量，求得共同的特徵函數。使用 EOF 可以將整體資料最重要的特徵找出來。主分量 (PC) 表示特徵向量隨時間的變化，因為這樣的特性，常被用來當作特徵向量所代表的氣候現象的指數 (index)，如 PDOI (Pacific decadal

oscillation index) 等。 PC_k 是將原始資料投影在第 k 個特徵向量(模)，再求每個時間點的空間總合，此時間序列即為第 k 個模之時間序列(主分量)。

第三節 熱量收支計算

為要再進一步研究探討大氣與海洋之交互作用，本研究利用熱量收支的方式去分析大氣海洋耦合變化與各個反應項之間的相關性。

熱量收支方程：(McPhaden 2002; An and Jin 2004; Ye and Hsieh 2008)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial T'}{\partial x} + u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + u' \frac{\partial T'}{\partial x} \right) - \left(v \frac{\partial T'}{\partial y} + v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} + v' \frac{\partial T'}{\partial y} \right) - \left(w \frac{\partial T'}{\partial z} + w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} + w' \frac{\partial T'}{\partial z} \right) + \frac{Q}{\rho_o c_p H} + R \quad (2)$$

在這方程式裡 T 、 u 、 v 、 w 分別代表了溫度、緯向、經向、垂直向，而混合層深度是以 H 來表示。

\bar{T} : 代表氣候值。

T' : 代表距平值。

以上面的方程式從左到右來看分別是海流緯向 (x)，經向 (y)，垂直向 (z)，分三個方向定義，而在這三種不同方向之海流右邊是大氣給海洋之海面熱當量 (SHF (surface heat flux)); Q 代表的是熱通量; ρ_o

表示海水的密度； c_p 表示海水的熱容量；H 表示混合層之深度，而在本研究取最接近混合層氣候值的深度 46M；R 代表的是殘餘項。

在這方程式裡又可分為兩個部分，第一為線性方程，第二為非線性方程，線性項表示：

$$-\left(u' \frac{\partial T'}{\partial x} + u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}\right) - \left(v' \frac{\partial T'}{\partial y} + v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}\right) - \left(w' \frac{\partial T'}{\partial z} + w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}\right) + \frac{Q}{\rho_o c_p H} + R \quad (3)$$

非線性項：

$$-\left(u' \frac{\partial T'}{\partial x}\right) - \left(v' \frac{\partial T'}{\partial y}\right) - \left(w' \frac{\partial T'}{\partial z}\right) \quad (4)$$

而每一項都有所代表的物理意義，以線性方程裡的 $-\left(u' \frac{\partial T'}{\partial x}\right)$ 來說， \bar{u} 是氣候值海流的 u 方向，而在太平洋赤道上 u 一直是從東往西方向流動， $\partial T'$ 則是海溫的異常值，我們已知海流由東向西是負值，再乘以前面的負值為正，假如這項值為正，代表海溫是由東向西做增暖的作用（暖流），若值為負，代表做減溫（冷流），其他的線性項以此類推。

在非線性方程裡從總值上比較難知道實際的原因必須要配合剖面圖深度圖交叉比對分析才能了解其物理意義。

第三章 1991-1995 長聖嬰與典型聖嬰之比較

本章節主要探討長生命週期聖嬰與典型聖嬰時空演變之差異，比較內容有海表面海溫、風場與海下垂直環流之差異性。

第一節 海溫與大氣環流的比較

一、海溫與海表面高度差異

一開始先開始觀察 1991-1995 長聖嬰，圖 3.1.到圖 3.4 是海表面溫度（陰影）與海表面高度（等值線）之水平圖，範圍為東經 30 度到西經 80 度，南北緯 30 度，發現於東太平洋海表面 1991 年四月、五月（圖 3.1a）海溫開始慢慢成長，到隔年二、三月（圖 3.1f）時東太平洋區域暖海溫極大值出現，而在西太平洋呈現相反的相位，在海表面高度之等值線上，也發現東太平洋區域的海表面高度也在同一月達最大值，西太平洋上也與之前的海表面溫度一樣有相反的結果。過了最大值的海溫後，開始減弱，海表面高度也開始降低，在 1992 年的六、七月（圖 3.1h）開始，東太平洋已有海溫負距平出現，海表面高度也轉為負距平；此結果與海表面溫度互相呼應；但冷海溫的出現並無持續，在 Dec1992、及 Jan1993（圖 3.2c）東太平洋海溫又開始轉成正距平，在 Apr1993、May1993（圖 3.2e）的又出現海溫極大值，

海表面高度也集中在東太平洋區域，而西太平洋也是呈現相反相位，可以發現此聖嬰的第二段成長。爾後，過了第二段成熟期後六、七月（圖 3.2f）開始，海平面高度明顯開始變低，海溫也開始下降，到 Dec1993、Jan1994（圖 3.3a）時東太平洋又出現異常冷海溫，然而，在中太平洋，海溫還是異常溫暖，到了 Jun1994、Jul1994（圖 3.3d）時異常的暖海溫開始從中太平洋成長到東太平洋，並且也開始發展此長聖嬰第三次增溫的現象，之後再 Oct1994、Nov1994（圖 3.3f）中、東太平洋海溫與海表面高度又達到極大值西太平洋上也同樣生長了冷海溫，但過了第三次的成熟期之後，海溫就不會像前兩次一樣轉回正距平，反而轉變成為反聖嬰。

而在典型聖嬰時期從圖 3.4a 可以發現在 Mar1997、Apr1997 時的海溫開始堆積在赤道太平洋，西太平洋開始轉為冷海溫，東太平洋上海表面高度也在增高，西太平洋則是減低，到了在十一、十二月，圖 3.4e 時海溫累積到最大值，海表面高度也在東太平洋區域產生極大值，爾後，海溫與海表面高度開始下降並在 May1998、Jun1998（圖 3.4h）時以中太平洋為中心向兩邊擴散的冷海溫出現。

綜合以上的水平圖觀察，在莫哈圖（圖 3.5a）上也可以清楚發現海溫在 1991 年到 1995 年有三段區間，而 1997 年生命週期維持一年多。

二、 大氣環流差異性

在大氣環流上，從同圖 3.5a 同範圍的圖 3.5b 之緯向風切(陰影)之莫哈圖上發現，這西風距平在西太平洋上從 1991 年一月就開始產生，一直持續約 34 個月的時間到 1993 年的十一月在西太平洋上的異常西風轉換為異常東風，但過了約三個月後，西太平洋上又轉回西風距平。但是，這次維持的時間就較短，在 1995 年二月又開始轉成東風在西太平洋上，也可以在東太平洋上注意到冷海溫出現。

而在 1997 的西風異常之水平圖的觀察上(圖 3.5b)，1997 典型聖嬰在前一年 Nov1996 時西太平洋赤道就已經產生異常西風，爾後，一直向東太平洋堆積到十、十一月時，西太平洋已開始轉向為東風，其生命週期約為 11 個月。

綜合以上發現，知道 1991 年到 1995 年的聖嬰現象有三段區間，圖 3.6 是 SODA2.0.2 的海表面溫度資料的時間序列圖，紅色綠色藍色分別為 Niño3、Niño3.4 及 Niño4 範圍，南北緯為正負 5 度。從圖 3.6 裡發現此長聖嬰在 1991 年到 1995 年有三段區間與典型聖嬰 1997 維持一到二年的時間有很大的差異，而依照 NOAA 聖嬰的定義下，1991 年到 1995 年的三個區間，分別設為三段成長、成熟、消散，第一段：1991 年九月到十二月為成長期，1992 年一月到 1992 三月為成熟期，1992 年四月到 1992 年八月為消散期；第二段：1992 年九月到 1993

三月為成長期，1993 四月到 1994 一月為成熟期，1993 七月到 1994 年一月為消散期；第三段：1994 年二月到 1994 年九月為成長期，1994 年十月到 1994 年十二月，1995 年一月到 1995 年四月為消散期。

三、輻散場差異

圖 3.7a~l 是從東經 30 度到西經 80 度、南北緯 30 度的時間平均水平圖，陰影為海表面溫度，箭頭為海表面風切。本研究把 1991 到 1995 與 1997 聖嬰之各個時期做平均水平圖，而統整比較後發現在成熟期之海溫水平圖上 1994 與 1997 年的印度洋盆明顯表現在東邊有強負距平之訊號，圖 3.7h、k，在消散期的比較上也發現 1994 與 1997 年在印度洋盆上呈現暖池之訊號，圖 3.7.i、l，由於印度洋盆增暖的現象透過大氣耦合之作用影響了西太平洋上西風轉至成東風的關鍵之一（Xie, et al. 2009）。

圖 3.8a~m 是 1991 到 1995 與 1997 個消散時期之時間平均輻散場水平圖，以成熟期為起始月，每兩個月做一次平均，每期共三張，但由於 1993 年消散期時間較長，在此就在多畫兩個月，以上圖 3.8 範圍同圖 3.7a~l，從高度 1000 輻散場水平圖也發現只有在 1994 與 1997 年消散時期約秋天西太平洋上高壓會出現（圖 3.8i 與 l），也就是菲律賓反氣旋（Wang et al. 2000），雖然在 1992 消散期西太平洋也有出現但維持的時間不長，從以上觀察與比較上 1994 與 1997 年隔年轉

成反聖嬰與印度洋盆暖池的情況也有一定的關係 (Annamalai et al. 2005; Kug and Kang 2006; Ohba and Ueda 2007)。

第二節 海洋表層與海流之比較

對於聖嬰的觀察，海表面溫度與大氣環流雖然重要之外，對於海底下的環流也固然重要，先前也介紹過在西太平洋的信風會傳送向東的 Kelvin Wave 與向西的 Rossby Wave，這兩種波可說是主導聖嬰海下 Thermocline (斜溫層) 變化 (參閱第一章)，又斜溫層的厚度變化通常是利用 D20 (Depth at 20 degree) 等溫線來表示，所以本節將針對 D20 深度的差異來互相比較。

圖 3.9~10 是 1991-1995 之長聖嬰與 1997 典型聖嬰的海洋溫度及洋流剖面 ($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 平均)。依照先前分別定義的成長、成熟、消散期。

圖 3.9a 為 1991 年聖嬰的發展期，時間為 Sep1991 到 Jan1992 漸層為海溫距平，箭頭為洋流方向，藍 (白) 等值線為觀測 (氣候值)。如圖所示，太平洋表層海溫分布呈現西冷冬暖的海溫距平，暖海溫距平分布在東太平洋 180 公尺以上，最大值位於 $150^{\circ}\text{W}\sim 100^{\circ}\text{W}$ ， 20°C 線的分布則是西太平洋較氣候值淺，東太平洋叫氣候值深，洋流則是由西向東傳送距平。

到了 1991 成熟期，圖 3.9b，太平洋異常海溫仍呈現西冷東暖的分布，不過 20°C 線觀測值與氣候值交界處較上一季偏東，也就是西太平洋較冷的海水在海平面以下有向東傳的現象，而且東太平洋 20°C 觀測值等值線比上一季來的深，也就表示海底下的湧升流變的更弱，使海表面溫度更高。

過了成熟期之後的消散期，3.9c 圖，海溫表面依然西冷東暖的分布，但約海下 120 公尺負距平的海溫較上一季還要靠向東，洋流方線也從原本向西流轉至成向東之流向，在東太平洋海下觀測之 20°C 等值線也比上季來的淺。

接下來圖 3.9d~f 是 1992 聖嬰的發展到消散期之海下剖面圖，3.9d 圖是 1992 的發展期，太平洋海表面溫度西冷東暖，但在東太平洋約海下 80 公尺深有冷海溫異常值出現，洋流呈現向中太平洋集中， 20°C 等值線的觀測值與氣候值相比雖然也是西淺東深，但與 1991 相比較接近氣候值。

到了 1992 聖嬰的成熟期圖 3.9e 海表面溫度仍是西冷東暖但在約換日線的海溫正距平異常值，從發展期的 140 公尺深退到了 110 公尺深，洋流也是維持兩側像中太平洋集中， 20°C 等值線與氣候值相比仍是西高東低，但與 1991 相比較，東太平洋較淺。

在 1992 消散期時，圖 3.9f 海表面溫度在東太平洋出現了冷的異

常值，洋流受到海底異常值的影響，異常洋流也向下流動，在海表面下冷海溫由西傳到東，但中東太平洋還是呈現較暖的現象， 20°C 等值線在東太平洋觀測值幾乎等於氣候值。

到了 1994 的聖嬰發展期秋季，圖 3.10g，海表面溫度呈現太平洋東西冷海溫中間暖的現象，海下溫度最大值發生在中太平洋，而洋流從西經 160 度為中心向外擴散流動，在 20°C 等值線上發現相比之下都是較淺的現象，與 1991、1992 相比，1994 比較接近氣候值，代表這段聖嬰成長與斜溫層相關性較小。

在 1994 成熟期，圖 3.10h，海表面溫度呈現西冷東暖的現象，在東太平洋下洋流是向東且向下的流動方向， 20°C 等值線相比是西淺東深，海表面溫度雖然在中太平洋有最大值，但海下之海溫最大值發生在東太平洋。

到了 1994 消散期時，圖 3.10i，海表溫度在太平洋兩側又出現了冷海溫，但在海底下與前一季相比冷海溫以從西太平洋傳到東太平洋，洋流轉至成由東向西之方向流動， 20°C 等值線變成都與氣候值來的淺。

在典型聖嬰 1997 發展期，圖 3.10j，海表面溫度是西冷東暖的情況，洋流是由西太平洋傳送到東太平洋之方向， 20°C 等值線與氣候值相比也是西淺東深，海溫異常值有到 200 公尺深。

到了成熟期，圖 3.10k，海溫明顯的呈現西冷東暖，洋流也從向東流之方向轉至成向中太平洋集中（約 160W）， 20°C 等值線也比上一季差異大且快轉至成水平海表面的線，海溫異常變的比上一季來的更大。

在 1997 消散期，圖 3.10l，海平面溫度雖然仍是西冷東暖但在海表面以下可以明顯觀察到西太平洋的冷海溫向東邊傳送，洋流方向轉至成由東向西之流動， 20°C 等值線東西邊變得比上一季來的淺。

第三節 小結

在大氣環流的比較下，1991 與典型聖嬰最大的差異除了海溫之外，西風也是個關鍵，典型聖嬰在秋末的時會在西太平洋上由西風轉至成東風，1991 聖嬰卻一直延續到 1995 春末才轉成東風，從海洋結構上統計比較後發現 1991 聖嬰之結構與與 1997 聖嬰結構較相似，而 1992 與 1994 結構較相似，綜合以上論點可知 1991-1995 這聖嬰並不只是一個中太平洋聖嬰可以解釋的聖嬰。

第四章 暖化趨勢及年代際變化的影響

上一個章節已知長聖嬰維持機制與一般典型聖嬰差異性之後，本研究想要再進一步探討這長聖嬰的發生，是否與因為其他較低頻的因素？，Trenbert（1996）在先前有研究過 1990-1995，卻並沒把年代際變化或者是線性暖化趨勢的關係來互相探討，本章節開始把太平洋赤道上分三個區域來做研究 Niño3、Niño3.4、Niño4 主要探討是否因受到線性暖化趨勢及年際變化的影響才導致長聖嬰的發生。

第一節 線性暖化趨勢影響

一、 成熟期之差異

圖 4.1a~c 是 1991、1992、1994 之成熟期的海表面溫度水平圖，圖 4.1d~f 則是扣除暖化趨勢影響之海表面溫度圖，在 1991 成熟期時的結構下發現西太平洋上冷海溫比還沒扣除暖趨勢影響還要大，東太平洋在南緯 20 度左右海溫稍微減弱，赤道卻沒明顯變化。

1992 時西太平洋也是跟變成較冷的情形，東太平洋則是無明顯差異，赤道海溫差異性並不明顯。

而在 1994 時西太平洋也變的較冷之外，在東太平洋約西經 100 度南緯 5 度附近的冷海溫逐漸明顯，但這現象不影響 1994 的發生，

因從圖上可明顯發現主要發生在中太平洋上的海溫沒受到很大的影響。

二、 消散期之差異

為了更進一步了解長生命周期的聖嬰，本研究也一併列出各時期的消散期來探討，從上一章已經知道 1991 與 1992 有兩個消散期，也知道在 1992 消散期時海溫雖然會轉冷但維持二到三個月後又轉變回暖海溫。

圖 4.2c 是 1991 消散期海表面溫度水平圖，扣除暖化趨勢與原始資料相比發現在東太平洋南緯 20 度的地方海溫變冷，西太平洋上冷海溫增加，但赤道上海溫差異性不大。

圖 4.2d 而是 1992 之消散期的海表面溫度水平圖，雖然赤道上的海溫有變弱一些，但整體上也大同小異。

圖 4.3a~c 是 Niño3、Niño3.4、Niño4 各區域南北緯 2°C 的海表面溫度之時間序列圖，從這圖表觀察 1991、1992、1994 各時期各區域聖嬰之最大值時（紅色是原始資料，綠色是扣除暖化趨勢線，藍色下節會說明），發現受到暖化影響與沒受到暖化影響相比較之下各區域溫度差異並沒很大（最大相差約 0.2），甚至在消散期時在水平圖表現也是一樣，但這三個區域相比發現 Niño4 的變化比其他 Niño 區域

差異來的大，但結果並不影響這長聖嬰維持的生命。

第二節 年代際變化因素

上一節比較過暖化趨勢後現在來關注在太平洋裡高於八年以上的低頻訊號，然而，先前在第一章已經介紹過會影響太平洋的一些大氣與海洋之後，本節為了要研究觀察長期海溫之影響，所以扣除了訊號較低的低頻資訊來觀測（方法請參考第二章）。

一、 成熟期之差異

圖 4.1g~i 是扣除低頻訊號（八年以上）的 1991、1992、1994 各個成熟期之海表面溫度之水平圖。

在 1991 時原始資料與濾波後的資料相比較後發現濾波後在東太平洋上正距平的海溫範圍變小，西太平洋冷海溫範圍變廣，尤其在東太平洋北緯 20 度左右，但在赤道海溫上還是有聖嬰的現象。

1992 的成熟期比較後在濾波低頻資料上，赤道上海表面溫度明顯的降低，尤其在中西太平洋上海溫明顯減弱且不像原始資料一樣向西延伸，西北太平洋上冷海溫也變大變廣。

最後在 1994 的成熟期時海溫比較之下，在赤道上比較發現濾過低頻暖海溫比原始海溫範圍減小變弱，而也發現在東北太平洋上冷海

溫變廣且增強。

二、 消散期之差異

發現在成熟期除了 1992 時期差異較大之外也算有聖嬰的現象，而在這段研究也一樣觀察看在消散期時海溫在水平圖上的表現是否為連續的聖嬰現象。

圖 4.2e 是 1991 濾波低頻後資料之海溫消散期，與原始海溫相比發現除了海溫整體變弱之外赤道海溫也從西太平洋上退回到中太平洋。

而在 1992 時 (圖 4.2f)，發現原本可延伸至西太平洋的海溫退回到東太平洋上，而東北太平洋上從原始的暖海溫轉變成冷海溫，甚至延伸到西太平洋上。

圖 4.3a~c 跟上一節分析暖化趨勢一樣是 Niño3、Niño3.4、Niño4 各區域南北緯 5°C 的海表面溫度之時間序列圖 (藍色是扣除低頻訊號 (八年以上) 之資料)，研究發現 1991、1992、1994 各時期的聖嬰之最大值相比都弱了很多，在消散期時各區域海溫還可到負 0.5 度以下，而這三個區域相比也發現 Niño4 受到低頻影響叫另外兩個區域大。

第三節 小結

從以上的研究與發現，在 1991~1995 這長生命週期聖嬰雖然有受到暖化趨勢的影響但並不大，反而是年代際影響較多，可從圖 4.4a 觀察發現 Niño 區域尤以 Niño4 變化較大，Niño3.4 在 1992 階段海溫不到 0.5 度，另外進一步發現在圖 4.5a~c Niño 各區域受到年代際震盪影響之變化裡還可以進一步發現年代際震盪不只影響了 1991~1995 年的海溫，其實早在 1976 年以前年代際還是負相位時反聖嬰而有長生命的現象（黑色:年代際震盪，紅色:正相位海溫，藍色:負相位海溫）。

此外在對於年代際變化除了海表溫之外，本研究也對於赤道上的緯向風切與受到八年以上訊號之相關研究探討，圖 4.5a~c 分別為 SODA 資料緯向風切海表面異常值之莫哈圖，a 為原始資料，b 為八年以下資料，c 為八年以上資料，而在 4.5b 圖中可以明顯看出在西太平洋區域裡，緯向風切明顯變弱，其中在 1993 年十一月開始轉為異常東風，一直到隔年四月才轉回異常西風的情形，而在八年以上訊號的資料下發現從 1991 年一月開始就是異常西風的狀態，直到在 1994 年九月之後異常東風發展於西太平洋上，才結束此長週期的異常緯向西風風切。

由此可知：

1. 在 1991~1995 期間 Niño4 的海溫受到年代際影響較大。
2. 1991~1995 之長生命週期聖嬰與年代際震盪訊號相關性較高。
3. 緯向風切也受到八年以上低頻訊號的影響也幫助此長聖嬰西風的維持。

第五章 混合層熱量收支分析

本章節主要研究於 1991 與 1992 的消散期之原始資料與扣除年代際變化之差異，因主要了解此聖嬰經歷過兩段的消散期中，原始資料保持異常暖海溫，而濾波後的海溫卻會掉下異常冷海溫，其中的物理機制的變化是此章節探討的重點。

第一節 熱量收支

一、海溫加熱項之差異

在第二章時就介紹過熱量收支的理論與公式，知道海溫加熱項 (trend) 可以表示出海溫是在做加溫或減溫的作用，圖 5.1a~c 是原始與濾波後以及低頻海溫資料之南北緯正負 2°C 的時間序列圖，時間是從 Jan1991 到 Dec1995，經度範圍從 130°E 到 80°W 。互相比較發現原始資料與扣除低頻訊號 (八年以上) 資料之正負交換的時間點差異不大，反而低頻訊號的時間序列圖從東太平洋向西延伸到東經 160 左右都是呈現正相位的情況 (圖 5.1c)，一直到 1995 年秋季正相位才漸漸的變成回氣後值，在西太平洋上都是負距平現象到了在 1995 春初開始轉回氣後值之後甚至變為正距平，尤此可知此低頻訊號對 1991~1995 年的海溫有維持溫暖的作用。

二、 利用加熱項定義生長與消散

先前已知扣除年代際變化之後的海溫會導致 1991~1995 這長聖嬰變成只剩兩個或一個聖嬰的產生，所以本研究利用海溫加熱項正負值定義三段成長期，三段消散期，如圖 5.2，在西經 170 到 120 及南北緯 2 度區域裡定義從最低值到最高值為生長期，最高值到最低值為消散期，所以 1991~1995 可以分為三段生長期三段消散期，三段生長期分別為:Sep1991 到 Jan1992、Sep1992 到 Mar1993、Feb1994 到 Oct1994，三段消散期為:Feb1992 到 Aug1992、Jun1993 到 Jan1994、Nov1994 到 Apr1995 以上各六個部分，表 5.1。

三、 洋流與大氣項

圖 5.3a~c 分別為 Niño 各個區域的洋流與大氣的原始資料和扣除年代際震盪的資料，藍色線為原始資料，紅色線為扣除年代際震盪資料，實線為原始海溫，點線為大氣項，時間是從 Jan1991 到 Dec1995，在圖 b、c 上，發現各區域在第二階段消散時海洋傳輸項，差異極大，而這段期間原始資料是正相位的，但在扣除低頻資料上卻是呈現負相位，由於這段海溫加熱項是負值，導致此聖嬰的海溫從異常溫暖轉變成異常冷海水，此外，可以發現 c 圖比 a、b 振幅來的大；在大氣項上發現與海洋平流項互相做相反之作用，當海洋平流項在加溫時，大

氣項反而都是在做冷卻且與海洋相比振幅相對較弱。

在第二章已介紹過熱量收支是由大氣加海洋以及殘餘項會等於溫度趨勢值，圖 5.4 是從左到右分別為溫度趨勢、大氣通量、海洋平流項、大氣通量加海洋平流項值與殘餘項。a~c 分別為第一次消散 Niño3、Niño3.4、Niño4 區域，d~f 分別為第二次消散 Niño4 各區域，藍色為原始資料，紅色為八年以下資料。在第一次消散期中越東邊殘餘項受到年代際影響由暖平流轉微冷平流，另外再 Niño4 區域裡海洋平流項受到年代際影響由暖平流轉為冷平流，而在第二次消散期中發現，大氣在 Niño 各區域都表示是幫助海洋維持溫暖的情形，而在 Niño4 是受到年代際的影響，大氣通量由冷平流轉為暖平流，在海洋平流項上發現在 Niño4 受到年代際影響後冷平流轉為暖平流。

本研究分別在 Niño3、Niño3.4、Niño4 區域中深入做大氣項的探討 (Hflux)，圖 5.5a~f 分別為第一次成長、消散 (圖 5.5a~b)，第二次成長、消散 (圖 5.5c~d)，第三次成長、消散 (圖 5.5e~f)，藍色為原始資料，紅色為八年以下資料，從下到上分別為 Niño3、Niño3.4、Niño4，在第一次的成長與消散中可以發現大氣在各 Niño 區域大約都是在做冷卻的情形，但在第二成長與消散中，除了 Niño4 之外其他都是在加溫的狀況，在第三次階段中，Niño3 之外大氣項都在做冷卻。就依照以上看到的現象了解此長聖嬰在第一次與第三次的生長過程

中大氣幫忙加溫較少，而在第二次階段中發現大氣加熱也是一個維持此長聖嬰的重要因素之一。

第二節 年代際變化對熱量收支的調整

圖 5.6a~f 是 Niño 各區域 2S 到 2N 的 1991 與 1992 消散期之月平均原始資料與八年以下低頻資料之熱量收支的各項統計圖表(溫度趨勢 (trend)、經向平流項 (u)、緯向平流項 (v)、深度垂直項 (w)、大氣項 (hflux)、平流項總合，藍色原始資料，紅色濾波後資料 (詳情請參考第二章)，成長與消散時間參閱圖 5.2。

從圖 5.6a~c 的第一次消散期裡發現在 Niño3 與 3.4 非常相似，而在 Niño4 裡的 u 項與另外兩個 Niño 的 u 相反導致洋流項在原始資料上整體是做增溫的作用，反而八年以下資料是做冷卻。另外再熱趨勢與海洋加大氣的總合值相比較發現在 Niño3.4 八年以下資料差值較大，代表此區間的殘餘項影響了這階段的熱量。

圖 5.6d~f 第二次消散裡注意到在原始資料裡 Niño 各區域中海洋平流項 v 都是幫助增溫，大氣項裡只有 Niño4 是做冷卻，另外也發現越靠西邊 v 項值越大，越東邊 w 項值越大，而在 Niño3 中的溫度趨勢與海洋加大氣項的總合差值較多，表示在這區域中受到殘餘項的影響較大。

一、 熱量收支統計整理

再圖 5.6a~f 的結果知道各個海洋像之差異後，本研究再進一步深入探討其這兩段的物理像差異性，用熱量收支方式分把海洋平流項分成九項(詳情參閱第二章)之後，原始資料與慮波厚的資料再做差值，圖 5.7a~f 是統計項中把 u、v、w 在各分三項之後，原始的資料減去濾波後的差異值，紅色柱表示正值，藍色表示負值，目的主要觀察受到年代際變化的差異。

所以本研究專注在貢獻度較大的項，因此圖 5.8 是第一次消散與第二次消散中裡各項貢獻度的百分比，藍色表示 Niño3、紅色表示 Niño3.4、綠色表示 Niño4 其緯度為 2S 到 2N，而在這研究裡挑出在這三個區域中貢獻度超過百分之 20 的項，結果分析如下:第一次消散下，Niño3 有 $-\left(\bar{w}\frac{\partial T'}{\partial z}\right)$ (以下簡稱 w1)，Niño4 是 $-\left(u'\frac{\partial \bar{T}}{\partial x}\right)$ (以下簡稱 u2)、 $-\left(\bar{v}\frac{\partial T'}{\partial y}\right)$ (以下簡稱 v1)、 $-\left(v'\frac{\partial T'}{\partial y}\right)$ (以下簡稱 v3)、 $-\left(w'\frac{\partial T'}{\partial z}\right)$ (以下簡稱 w3)。而在第二次消散期，Niño3 有 $-\left(\bar{u}\frac{\partial T'}{\partial x}\right)$ (以下簡稱 u1)、w1、w3，Niño4 有 u2、 $-\left(u'\frac{\partial T'}{\partial x}\right)$ (以下簡稱 u3)、v1、 $-\left(w'\frac{\partial \bar{T}}{\partial z}\right)$ (以下簡稱 w2)，總共 11 項。其中這些差異裡有些會幫助增暖，有些會增快消散，以下分析皆使用各項括弧裡的代號來代表。會增暖分別有:第一次消散中 Niño3 的 w1，Niño4 的 v1、w3，第二次消散中 Niño3 的 w1，Niño4 的 u3、w2，幫助消散中分別有:第一次消散 Niño4

的 u_2 、 v_3 ，第二次消散 Niño3 的 u_1 、 w_3 ，以及 Niño4 的 u_2 。

二、 經緯向剖面分析

圖 5.9~13 是依照圖 5.1 裡統計表項之差異，劃出經緯向剖面分析圖，圖中是用 Niño3、3.4、4 各區域的經度範圍作平均，當作經向分析時，緯度範圍南北緯 6 度，經度則是 Niño3、3.4、4 各區域做平均，而在做緯度分析時，經度範圍東經 130 度到西經 80 度，緯度則是南北緯 2 度，箭頭是垂直與緯向或經向的海流，以下分析時會依依介紹。

三、 第一次消散

圖 5.9a~c 是第一次消散 Niño3 的 w_1 項，由於 w_1 項是由垂直平流的氣候值乘上溫度做溫度的偏微分，在這三張圖的陰影是氣候值的垂直平流，箭頭是氣候值的 w 與 v 。從圖 5.9.a 可以觀察海流從赤道海下（約 110 公尺）往海表面流動，海流從較暖海溫的區域（約 20 到 80 公尺）傳到赤道來，由此可見在做增溫。在濾波後的資料裡，圖 5.9b 赤道下（75 到 95 公尺）溫度較冷，對赤道混合層做冷卻。圖 5.9c 裡可以明顯看出受到年代際變化的影響，海流從赤道中間海深約 35 到 85 公尺，暖區域往海表面較冷的區域做增溫。

Niño4 裡有 u_2 及 v_1 差異較大，由於 u_2 的變數是緯向方向的海流，氣候值是海溫，所以在圖 5.10 裡的陰影代表氣候值的海溫，圖 5.10a~c 的陰影是海流之異常值，箭頭代表異常值得 u 與 w ，在圖 5.10a 裡在 Niño4 範圍裡的海流是向西流動配合氣候值海溫剖面圖來看，冷海溫往暖海溫流動做冷卻，而在圖 5.11b 裡在約經度約東經 160 度深度從海表面到 30 公尺出現短暫的向東流動的海流，結果，在圖 5.10c 的年代際變化影響裡 u 是向西太平洋移動的，做冷卻。

在 v_1 項裡圖 5.11a~c，氣候值的經向海流與異常值的溫度，與在 Niño3 時一致，海流從赤道往兩極移動，在圖 5.11a 裡的海溫較強，海溫又被海流從較暖的地方帶往較冷的區域，圖 5.11c 裡赤道海溫明顯比南北緯兩側溫度較高，明顯表示在做增溫的狀態。

四、 第二次消散期

接下來圖 5.12 開始是第二次消散期的分析，圖 5.12a~c 是 Niño3 區域的 u_1 ，可以看到氣候值的 u 都在海深約 50（西經 100 度）到 70 公尺（東經 160）以上都是向西流動的海流，以下則是向西流動。圖 5.12a 的緯向海溫剖面圖的 Niño3 區域，從圖上看不出是增溫還是冷卻，但在圖 5.12b 裡約西經 80 度到 100 度的海溫較暖，所以在過落後的資料裡，這區域是在做增溫，從圖 5.12c 裡的年代際變化下，

Niño3 裡是做增溫的。

圖 5.13a~c 是 Niño3 的 w1 項，氣候值的經向海流與異常值的溫度，圖 5.13a 是氣候值的經向海流，在圖裡的陰影約南緯 1 度以北，深度約 40 公尺都是向北極流動的，相反的則是往南緯流動，海溫北緯 2 度內溫度較高，所以這段海溫做增溫，在圖 5.13b 則赤道海溫較冷向兩極擴散做冷卻，也可以從圖 5.13c 氣候值影響裡明顯看得出來是在做增溫。

在同樣的時間區域的 w3 項圖 5.13d~f，圖 5.13d 裡在赤道的垂直平流把海表面異常溫度較高的海水往海底下傳送，在這段時間是做增溫的作用，在圖 5.13e 的現象也是把海表面易長溫暖的海水往海底冷海溫傳送，這樣結果使整個年代際變化在這裡是作冷卻的功用，圖 5.13f。

在 Niño4 的第二次消散區間裡，分別有 u2、u3、w2 各項，在圖 5.14a~b 裡，是 u2，由於 u2 變數代表是緯向方向的海流，氣候值是海溫，圖 5.14a~c 的箭頭是海流之異常值，陰影代表異常值得 u 與 w，在圖 5.14a 裡在 Niño4 範圍裡的海流是向西流動配合氣候值海溫剖面圖來看，冷海溫往暖海溫方向流動做冷卻，而在圖 5.14b 裡梯度較原始資料大，結果，在圖 5.14c 的年代際變化影響裡，再換日線已東的海流往西流動，導致海溫從較冷的區域帶到較暖的區域，做冷卻。

在圖 5.15a~c 是 u3 的流域剖面圖，陰影代表異常值的海溫，箭頭代表異常值的海流，在 a 圖理中 Niño4 區域的異常海溫是溫暖的，在加上異常海流是由東向西傳送，所以把整個異常的暖海溫往異常冷海溫傳送，作增溫。在 b 圖裡海溫卻是異常冷，在 c 圖中可以明顯知道年代際在這裡是做冷卻的情況。

在 v1 項裡圖 5.16a~c，氣候值的經向海流與異常值的溫度，與在 Niño3 時一致，海流從赤道往兩極移動，在圖 5.16a 裡的海溫較 b 強，海溫又被海流從較暖的地方帶往較冷的區域，圖 5.16c 裡赤道海溫明顯比南北緯兩側溫度較高，明顯表示在做增溫的狀態。

圖 5.17d~f 是 w2 項的流域剖面圖，由於 w2 是氣候值的溫度乘上異常值的經度方向海洋平流項，以赤道為中心，溫度項兩極增溫，上層筆下層較為溫暖，在圖 5.17a 的原始資料裡發現異常值的海流從上層往下層流動，而在 b 圖裡流域變弱，作用不在這麼強烈，從 c 圖中就可明顯知道受到年代際變化影響，在整項作加溫。

第三節 GODAS 比較

另外再使用與 SODA 資料相似，沒有大氣資料的 GODAS 做個探討比較，圖 5.18 是 GODAS 從 1980 年到 2008 年在 Niño3.4 的區域做海表面溫度時間序列圖（同圖 4.5），雖然 GODAS 資料是從 1980 年以後才有，但在黑色低頻的線上面明顯看出與聖嬰的相關性，在圖

5.18 與 5.19 分別是 SODA 與 GODAS 資料的海表面異常溫度莫哈圖 (同圖 5.1)，這兩組圖的 c 圖都是由各個原始資料之八年以下訊號的資料，結果發現同樣有溫度加熱的情形。

第四節 小結

在熱量收支上統計發現原因大致上與海底的結構有關。經過統計發現 (表 5.2a 與表 5.2b) 在第一次消散時 Niño3、Niño3.4、Niño4 都以垂直項為主要，而在第二次消散的時候發現除了 Niño3、Niño3.4 一樣之外，在 Niño4 卻是平流項為主要，先前 Kug et al. (2009) 就研究分析過，若聖嬰發生在東太平洋，就會以垂直項的斜溫層 (Thermocline) 變化為主要因素，而若是在中太平洋則是以平流項為主導，而第一次的聖嬰結構較偏為東太平洋，第二次較偏為中太平洋，與表 5.2a 與 5.2b 統計結果相似。另外在表 5.4 到 5.7 中可以看到 1991 到 1995 各個時期的海洋變化貢獻度，發現在第一次成長在東邊主要是垂直項的貢獻，越靠中太平洋則是平流項，第二次成長是比較混合，平流項及垂直項都有貢獻，而在第三次成長時期都是海表面平流項所貢獻較多，與在第三章時的剖面結構分析之位置大同小異。

第六章 結果與討論

結果

本研究利用 SODA2.0.2 海洋資料分析 1991-1995 年的聖嬰現象反應，探討這段長聖嬰生命週期維持的機制，研究可分三大部分：

1. 分析海表面溫度距平可將此聖嬰分為三個部份（表 6.1），第一段成熟時間在冬末（Feb1992），第二段在春末（May1993），第三段在秋末（Nov1994），第一部份聖嬰（1991）海表下結構與典型聖嬰（1997）相似（表 6.3），海表面溫度較集中於東太平洋，斜溫層西高東低，1992 與 1994 年海表面溫度較集中於中太平洋，且斜溫層變化相對較小，整體來說，此長聖嬰結構是屬於一種混合型的聖嬰，有 EP-type 也有 CP-type。
2. 扣除線性趨勢與濾波的方法計算可分析全球暖化與年代際變化的影響，結果發現扣除線性趨勢後，此聖嬰海溫變化不大，全球暖化影響不大，此結果暗示全球暖化並非此聖嬰形成的主因，而扣除年代際影響後的海表面溫度無法維持其結構，由此可知 1991-1995 的聖嬰受到年代際影響較為顯著。
3. 另外從年代際海表面溫度與熱量收支上發現 Niño4 區域受到低頻作用影響較其他 Niño 區域大。

4. 西太平洋上持續的西風異常所帶的增溫效應，在大氣項上為持續此長聖嬰繼續成長的關鍵，而在第二階段的成長中大氣項是屬於持續加熱的情況，故了解此長聖嬰在第二階段成長時受到大氣中所帶的暖平流相關性高。
5. 計算海溫熱量收支發現，靠東太平洋的地方，海洋垂直項貢獻較大，此代表湧升流的影響，相反的，越靠中太平洋，則是平流項貢獻較大。而在第一次消散期中，在先前垂直頗面分析結構上發現是屬於較偏東太平洋，而在熱量收支也研究發現在這區間中的垂直項效應較強；第二次消散結構是屬於偏中太平洋，而熱量收支的統計上也是以平流項的貢獻度較大。
6. 另外，此長聖嬰的三段成長期中，第一次垂直項貢獻較大，其中又以 $-\bar{w}\frac{\partial T'}{\partial z}$ 為主要，第二次成長而是在 Niño 各區域平均都以平流項貢獻度較大， $-\bar{v}\frac{\partial T'}{\partial y}$ 為主要因素，第三次成長也主要由平流項幫忙加溫，且在消散時也是平流項為主導，與先前垂直頗面分析後的現象相同。

討論

一、 2002-2005 長周期個案

對於聖嬰事件再 1990 年後越來越多的現象，本研究發現對於全球暖化所受到的影響並不多，反而是受到低頻八年以上訊號相關性較高，另外，在 2000 年後也有另外一個長生命週期之聖嬰是發生在 2002-2005 年，如圖 1.1 所示。本研究最後也對這段區間之長聖嬰研究是否也受到低頻訊號（八年以上）的影響，但由於 SODA 資料只到 2007 年十二月，所以在這裡使用 HadISST 的資料代替，圖 6.1 是南北緯五度海表面溫度之時間從 2002 年一月到 2005 年十二月莫哈圖，從 6.1a~c 分別為原始資料、扣除線性趨勢資料與扣除低頻震盪之資料，在 6.1c 圖約 Niño4 區域海溫相較於 6.1a 與 6.1b 圖差異較大，但可以看到在 Niño3 區域裡，2002-2005 年的海溫低頻振幅差異大，與 SODA 資料後半段的濾波有關。

二、 太平洋年代際變化的空間結構

本研究裡的年代際變化是利用原始資料裡八年以上的低頻訊號（八年以上）作定義，但是否就是太平洋年代際變化呢？在圖 6.4 裡是用 EOF（第二章有詳細解說）算出 PC1（綠色）與 PC2（藍色）與 Niño3.4 海表面溫度從 1990 年一月到 2010 年十二月座時間序列圖，

其中 PC1 佔 36.9%、PC2 佔 23.3%，結果發現，PC1 與原始海表面溫度的相似度較高，在 1990 年一月到 1998 年十二月 PC1 都是呈現暖相位的現象，然而，經過一到兩年的時間轉變為負相位，在這期間原始海溫也是呈現異常冷卻的現象，而在過了 2001 年後 PC1 又轉為暖相位，而海表溫也維持了三到四年的長聖嬰現象。圖 6.5 是 PC1 的模態，其海表面溫度的分布呈現像是 PDO 的訊號，而圖 6.6 是 PC2 的模態像是 Modki 聖嬰的訊號 (Ashok et al., 2007)，綜合以上的觀點瞭解八年以上低平訊號與 PDO 的關係相似度較高。

經過本研究對於年代際變化的一些探討，在未來中，對於聖嬰生命週期之維持可與觀測 PDO 加以合併探討與研究。

三、 不同氣候平均的影響

在第一章有提到太平洋在 1976 年前後氣候場位移之關係，本研究對於在 1976 年前後，氣候場改變下，此長聖嬰是否會有所改變做個相關研究討論，由於從本研究知道氣候場的垂直與水平經向的重要性，分別利用 SODA 的資料在 1976 年前後做個平均值在對 1991~1995 的資料做距平值來研究探討，所以針對 1991~1995 聖嬰的第一階段與第二階段消散做氣候場變異之探討。再圖 6.7a~b 中分別為氣候值的 $w1$ 與 $v1$ ，時間選取為第一階段 Niño3 的消散期，陰影為海溫距平，同圖 5.9，但為緯向頗面，與第二階段 Niño4 的消散期，同圖 5.15，

在 6.7a 中發現此時的氣候值 w 在 Niño3 區域中是向下流動，與圖 5.9 中相反。另外在圖 6.7b 圖中發現在 1976 年後流域轉變為向赤道集中，與在圖 5.15 裡看到向南北兩極擴散是相反的情況，從這兩點可推測此長聖嬰受到氣候場變化影響並不明顯，而是年代際變化的訊號影響較大。而在氣候場位移的情況下在圖 6.8.a 同圖 5.15 但時間資料為一整年的氣候值平均差值（Jan1976~Dec2005 氣候值減 Jan1958~Dec1975 氣候值），發現 1976 年後海表面溫度較高，風切與海溫互相影響則吹西南風，把異常溫暖的海水維持在東太平洋，同樣在圖 6.8b 同 6.8a 但為垂直頗面中注意到在東太平洋的垂直向海流中 1976 年之後湧升流明顯減弱，導致海底深處低溫海水不易向上流動，冷平流減弱，此結果使得表層海溫不易消散，這兩項結果互相作用，使得表層海溫有逐漸升高的現象。

參考文獻

- An, S.-I., and F.-F. Jin, 2001: Collective role of thermocline and zonal advective feedbacks in the ENSO mode, *J. Climate.*, **14**, 3421-3432.
- An, S.-L., and B. Wang, 2000: Interdecadal change of the structure of the ENSO mode and its impact on the ENSO frequency, *J. Clim.*, **13**, 2044-2055, 2000.
- An, S.-I., and F.-F. Jin, 2004: Nonlinearity and asymmetry of ENSO. *J. Climate*, **17**, 2399–2412.
- Annamalai, H., S.-P. Xie, J. P. McCreary, and R. Murtugudde, 2005: Impact of Indian Ocean sea surface temperature on developing El Niño. *J. Climate*, **18**, 302-319.
- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata, 2007: El Niño Modoki and its possible teleconnection, *J. Geophys. Res.*, **112**, C11007, doi:10.1029/2006JC003798.
- An, S.-I., J.-S. Kug, Y.-G. Ham, and I.-S. Kang, 2008: Successive modulation of ENSO to the future greenhouse warming. *J. Climate*, **21**, 3 – 21.
- Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163-172.
- _____, 1972: Large-scale atmospheric response to the 1964-65 Pacific equatorial warming. *J. Phys. Oceanogr.*, **2**, 212-217.

- Battisti, D. S., 1988: Dynamics and thermodynamics of a warming event in a coupled tropical atmosphere–ocean model. *J. Atmos.Sci.*, **45**, 2889–2919.
- Chao, Yi; Ghil, Michael; McWilliams, James C., 2000:Pacific Interdecadal Variability in This Century's Sea Surface Temperatures.,*Geophys. Res. Lett.*, **Vol.27**, No.15, p.2261.
- Carton, J. A., and B. S. Giese, 2008: A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA) . *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 2999-3017.
- Dukowicz, J. K., and R. D. Smith, 1994: Implicit free-surface method for the Bryan–Cox–Semtner ocean model. *J. Geophys. Res.*, **99**, 7991–8014.
- Hoerling, M. P., A. Kumar, and T. Xu, 2001: Robustness of the nonlinear climate response to ENSO's extreme phases. *J. Climate*, **14**, 1277-1293.
- Hong C-C, Li T, Lin H, Chen Y-C, 2010: Asymmetry of the Indian Ocean Basin-wide SST Anomalies: roles of ENSO and IOD. *J Climate.*, **23**, 3563–3576.
- Jin, F.-F., J.-S. Kug, S.-I. An, and I.-S. Kang, 2003: A near-annual coupled ocean-atmosphere mode in the equatorial Pacific Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1080, doi:10.1029/2002GL015983.
- Kleeman, R., J. McCreary, and B. Klinger, 1999:A mechanism for generating ENSO decadal variability, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 1743
- K . E. Trenberth and T. J. Hoar, 1996: The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation

- event: Longest on record, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 57
- Kang, I.-S., S.-I. An, and F.-F. Jin, 2001: A systematic approximation of the SST anomaly equation for ENSO. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 1–10.
- Kug, J.-S., and I.-S. Kang, 2006: Interactive feedback between ENSO and the Indian Ocean. *J. Climate*, **19**, 1784-1801.
- Kao, H.-Y., and J.-Y. Yu, 2009: Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO. *J. Climate*, **22**, 615–632.
- Kug, J.-S., F.-F. Jin, S.-I. An, 2009: Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño, *J. Climate.*, **22**, 9–1515,doi:10.1175/2008JCLI2624.1.
- Li, T., P. Liu, X. Fu, B. Wang, and G. A. Meehl, 2006: Tempo-spatial structures and mechanisms of the tropospheric biennial oscillation in the Indo-Pacific warm ocean region. *J. Climate.*, **19**, 3070–3087.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, and R.C. Francis, 1997: A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society.*, **Vol. 78**, pp 1069-1079.
- McPhaden, M. J., 2002: Mixed layer temperature balance on intraseasonal timescales in the equatorial Pacific Ocean. *J. Climate*, **15**, 2632–2647.
- Ohba, M., and H. Ueda, 2007: An impact of SST anomalies in the Indian ocean in acceleration of the El Niño to La Niña transition. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**,

335-348.

Okumura, Y. M., and C. Deser, 2010: Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña. *J. Climate.*, **23**, 5826–5843

Roeckner, E., Bengtsson, L., Feichter, J., Lelieveld, J., and Rodhe, H. 1999: Transient Climate Change Simulations with a Coupled Atmosphere-Ocean GCM Including the Tropospheric Sulfur Cycle, *J. Climate*, **12**, 3004–3032.

Su, J., R. Zhang, T. Li, X. Rong, J.-S. Kug, and C.-C. Hong, 2010: Causes of the El Niño and La Niña amplitude asymmetry in the equatorial eastern Pacific. *J. Climate.*, **23**, 605–617.

Trenberth, K.E. and J.W. Hurrell, 1994: Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Clim. Dyn.*, **9**, 303-319.

Trenberth, K. E., and T. J. Hoar, 1996: The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: Longest on record, *Geophys. Res. Lett.*, **23**,57-60.

Trenberth, K. E., 1997: The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2771–2777.

Timmermann A., Latif M. , Bacher A., Oberhuber J.M., Roeckner E. 1999: Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming, *Nature*, **398**, 694-696.

Walker, G. T., 1923: Correlation in seasonal variations of weather, VIII: A preliminary

- study of world weather. *Mem. Indian Meteor. Dept.*, **24**, 75-131.
- _____, 1924: Correlation in seasonal variations of weather, IX: A further study of world weather. *Mem. Indian Meteor. Dept.*, **24**, 275-332.
- _____, 1928: World Weather III. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **2**, 97-104.
- _____, and E. W. Bliss, 1930: World Weather IV. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **3**, 81-95.
- _____, and _____, 1932: World Weather V. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **4**, 53-84.
- _____, and _____, 1937: World Weather VI. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **4**, 119-139.
- Weisberg, R., and C. Wang, 1997: A western Pacific oscillator paradigm for the El Niño–Southern Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 779–782.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate.*, **13**, 1517-1536.
- Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, Y. Du, G. Huang, and H. Tokinaga, 2009: Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño. *J. Climate*, **22**, 730–747.
- Ye, Z., and W. W. Hsieh, 2008: Changes in ENSO and associated overturning circulations from enhanced greenhouse gases by the end of the twentieth century. *J. Climate*, **21**, 5745–5763.
- Yang, H., and Q. Zhang, 2008: Anatomizing the ocean role in ENSO changes under global warming. *J. Climate*, **21**, 6539 – 6555.

Yu, J.-Y., H.-Y. Kao, and T. Lee, 2010: Subtropics-related interannual sea surface temperature variability in the central equatorial Pacific, *J. Climate.*, **23**, 2869–2884.

Zhang, Y., J.M. Wallace and D.S. Battisti 1997: ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. *Journal of Climate.*, **Vol. 10**, 1004-1020.

附表

表 3.1: Niño 各個區域海溫最大值之時間與異常海溫值。

| 原始資料 | Niño4 | Niño3.4 | Niño3 |
|-----------|-------|---------|-------|
| Feb1992 | 1.4 | 2.5 | 1.9 |
| May1993 | 0.9 | 1.3 | 1.7 |
| Nov-v1994 | 1.4 | 1.8 | 1.7 |
| Nov-v1997 | 1.4 | 3.6 | 4.6 |

表 5.1: 參照圖 5.1 的統計表格。

| | 第一段加熱 | 第一段加熱 | 第一段加熱 |
|-----|-----------------|-----------------|-------------------|
| 發展期 | Sep1991-Jan1992 | Sep1992-May1993 | Feb1994-Oct1994 |
| 消散期 | Feb1992-Aug1992 | Jun1993-Jan1994 | Nov-v1994-Apr1995 |

表 5.2:第一次消散期，水平溫度平流項與垂直溫度平流項對混合層溫度趨勢的貢獻度。(第一階段消散期 Feb1992-Aug1992)

| 第一階段消散期 | Niño3 | Niño3.4 | Niño4 |
|---------|-------|---------|-------|
| 平流項 | 46.1% | 49.6% | 32.9% |
| 垂直項 | 53.9% | 50.4% | 67.1% |

表 5.3:同表 5.2 但為第二次消散貢獻度。(第二階段消散期 Jun1993-Jan1994)

| 第二階段消散期 | Niño3 | Niño3.4 | Niño4 |
|---------|-------|---------|-------|
| 平流項 | 42.1% | 47.6% | 66.6% |
| 垂直項 | 57.9% | 52.4% | 33.5% |

表 5.4: 同表 5.2，但為第一次成長

| 第一階段成長期 | Niño3 | Niño3.4 | Niño4 |
|---------|-------|---------|-------|
| 平流項 | 30.4 | 66.1% | 70.8% |
| 垂直項 | 69.6% | 33.9% | 29.2% |

表 5.5: 同表 5.2，但為第二次成長

| 第二階段成長期 | Niño3 | Niño3.4 | Niño4 |
|---------|-------|---------|--------|
| 平流項 | 67.6% | 49% | 112.1% |
| 垂直項 | 32.4% | 51% | -12.2% |

表 5.6: 同表 5.2，但為第三次成長

| 第三階段成長期 | Niño3 | Niño3.4 | Niño4 |
|---------|-------|---------|-------|
| 平流項 | 66.6% | 61.2% | 82.8% |
| 垂直項 | 33.4% | 38.8% | 17.2% |

表 5.7: 同表 5.2，但為第三次消散

| 第三階段消散期 | Niño3 | Niño3.4 | Niño4 |
|---------|-------|---------|-------|
| 平流項 | 55.6% | 84.7% | 77.3% |
| 垂直項 | 44.4% | 15.3% | 22.7% |

表 6.1:1991 到 1995 年（長生命週期聖嬰）與 1997 年（典型聖嬰）之發展、成熟、消散期，括弧裡數字為持續的時間，單位為月份。

| 個案 | 發展 | 成熟 | 消散 |
|-----------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1991-1995 | 一 Sep1991- Jan1992 (5) | Jan1992- Mar1992 (3) | Mar1992- Aug1992 (6) |
| | 二 sep1992- Apr1993 (8) | Apr1993- Jun1993 (3) | Jul1993- Jan1994 (7) |
| | 三 Feb1994- Oct1994 (9) | Oct1994- Dec1994 (3) | Dec1994- Apr1995 (5) |
| 1997 | Mar1997- Sep1997 (7) | Oct1997- Dec1997 (3) | Jan1998- Jul1998 (7) |

表 6.2:同表 6.1，但為海溫最大值、西風異常、海表面高度之差異。

括弧裡的數字表示跨年。

| 個案 | 年份 | 海溫最大異常值 | | 西風異常 | | 海表面高度 | | |
|-------------|------|------------|------|------------------------------|------|-----------------------------|------|---------|
| | | 月份 | 位置 | 大小 ($^{\circ}\text{C}$) | 位置 | 值*100 (N/m^2) | 位置 | 值*10(m) |
| 長生命週期 聖嬰 | 1991 | JFM(1) | 155W | 2.6 | 166E | 1.9 | 115W | 0.9 |
| | 1992 | AMJ (1) | 127W | 2.1 | 160E | 2.7 | 100W | 0.8 |
| | 1994 | OND (0) | 175W | 2.1 | 164E | 4.1 | 109W | 1 |
| 典型聖嬰 | 1997 | OND (0) | 110W | 5.4 | 154W | 5.7 | 109W | 3 |

表 6.3:同表 6.2，但為 Niño3、Niño3.4、Niño4 各區域 20°C 深度線。

單位公尺。

| ΔD_{20} (m) 觀測值/氣候值 | | | | | |
|-----------------------------|------|---------|---------|---------|---------|
| 個案 | 年分 | 區域 | 發展期 | 成熟期 | 消散期 |
| 長生命週期 聖嬰 | 1991 | Niño3 | 25/83 | 37/85 | -2/81 |
| | | Niño3.4 | -11/132 | 0/128 | -9/121 |
| | | Niño4 | -22/158 | -47/162 | -22/158 |
| | 1992 | Niño3 | 1/84 | 6/83 | -5/83 |
| | | Niño3.4 | -6/131 | -4/121 | -10/130 |
| | | Niño4 | -22/164 | -19/158 | -20/163 |
| | 1994 | Niño3 | -5/81 | 19/85 | -11/84 |
| | | Niño3.4 | -5/122 | -1/134 | -16/126 |
| | | Niño4 | -17/159 | -22/166 | -24/161 |
| 典型聖嬰 | 1997 | Niño3 | 34/80 | 43/85 | -20/83 |
| | | Niño3.4 | 15/122 | 5/134 | -41/124 |
| | | Niño4 | -15/158 | -32/166 | -47/160 |

附圖

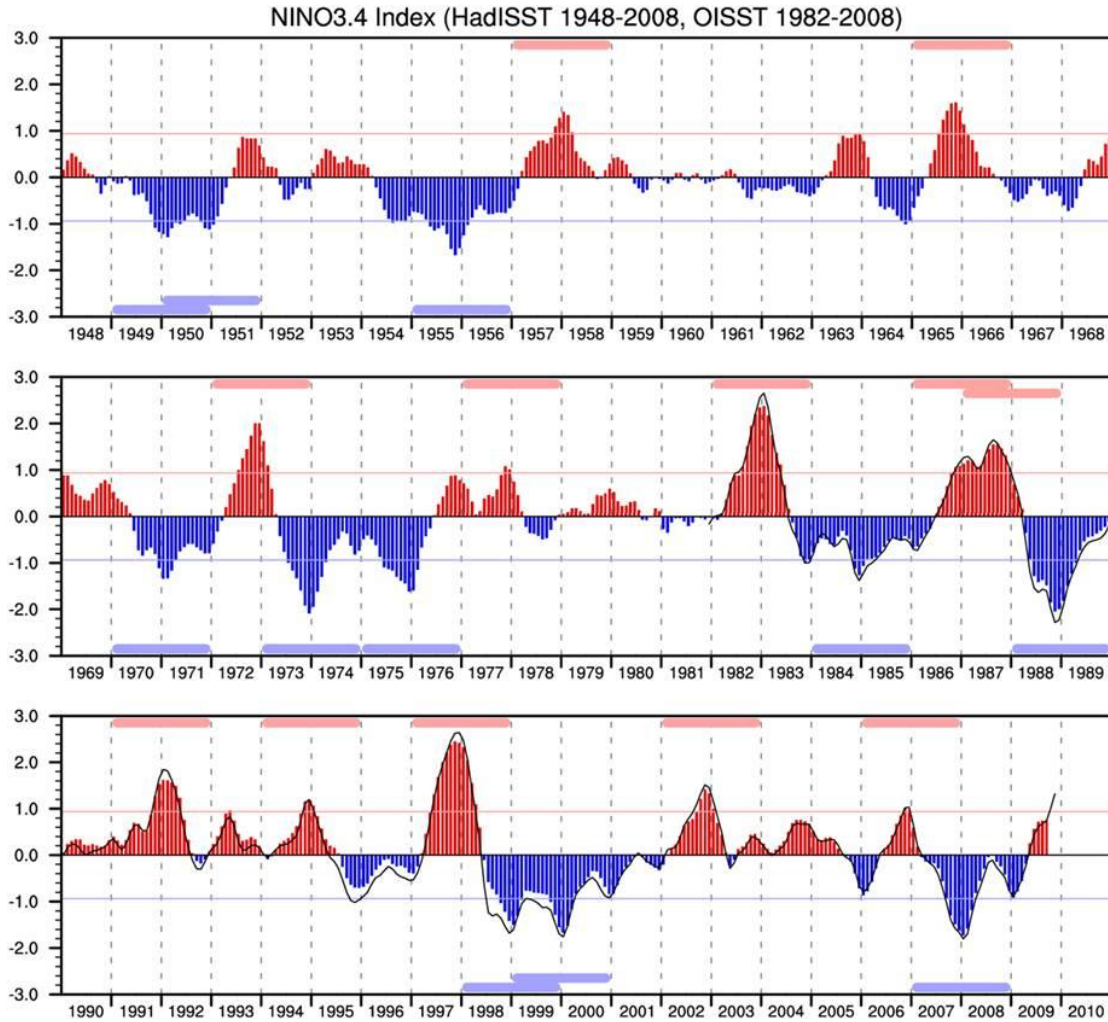


圖 1.1: Niño3.4 海溫的時間序列圖，HadISST 時間從 1948 至 2008 (color bar) 和 OISST 1982 至 2008 (黑線)。聖嬰與反聖嬰分別以 0 值線為中心向上的為紅色 (聖嬰) 向下為藍色 (反聖嬰)，而利用 HadISST data 算出 0.94 (正負) 標準差 (摘自 Okumura and Deser 2010)。

Simple Model of Wind Induced Perturbation of the Tropical Pacific Ocean

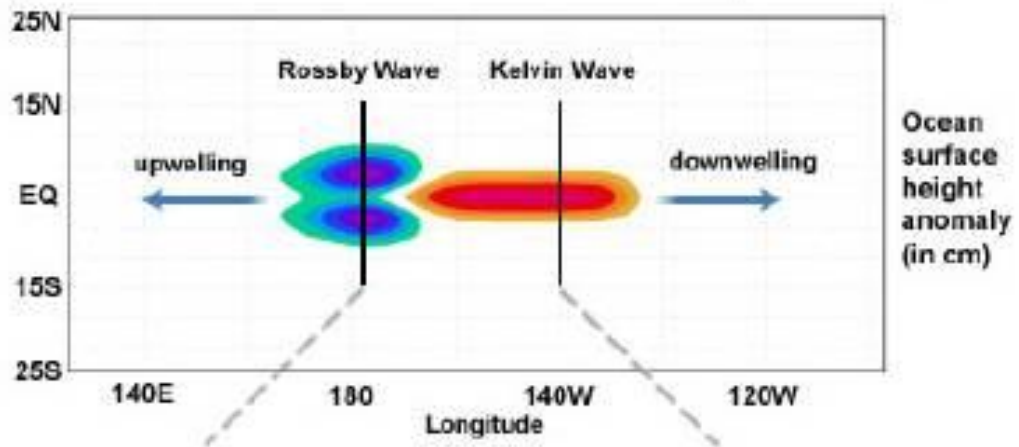


圖 1.2: 理想化的狀態下，受風應力影響下赤道向東移動是 Kelvin wave(紅色和橙色)和向西則是 Rossby wave(摘自 Weisberg and Wang, 1997)。

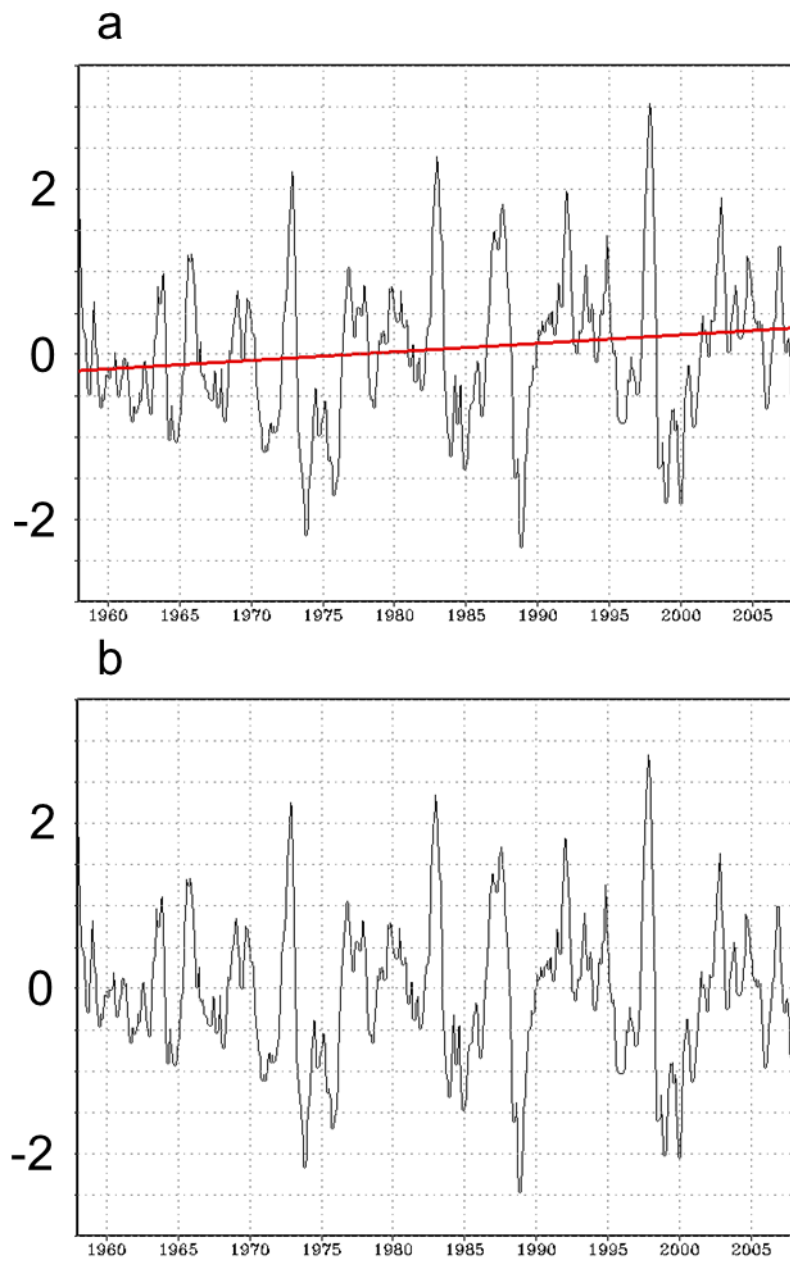


圖 2.1a: SODA2.0.2 資料 Niño3.4 區域海表面溫度時間序列圖, Jan1958 至 Dec2007。b:同 a 扣除海溫線性趨勢線之結果。(橫軸時間序列, 縱軸海溫異常值, 黑色線表示海溫, 紅色線表示線性趨勢值)

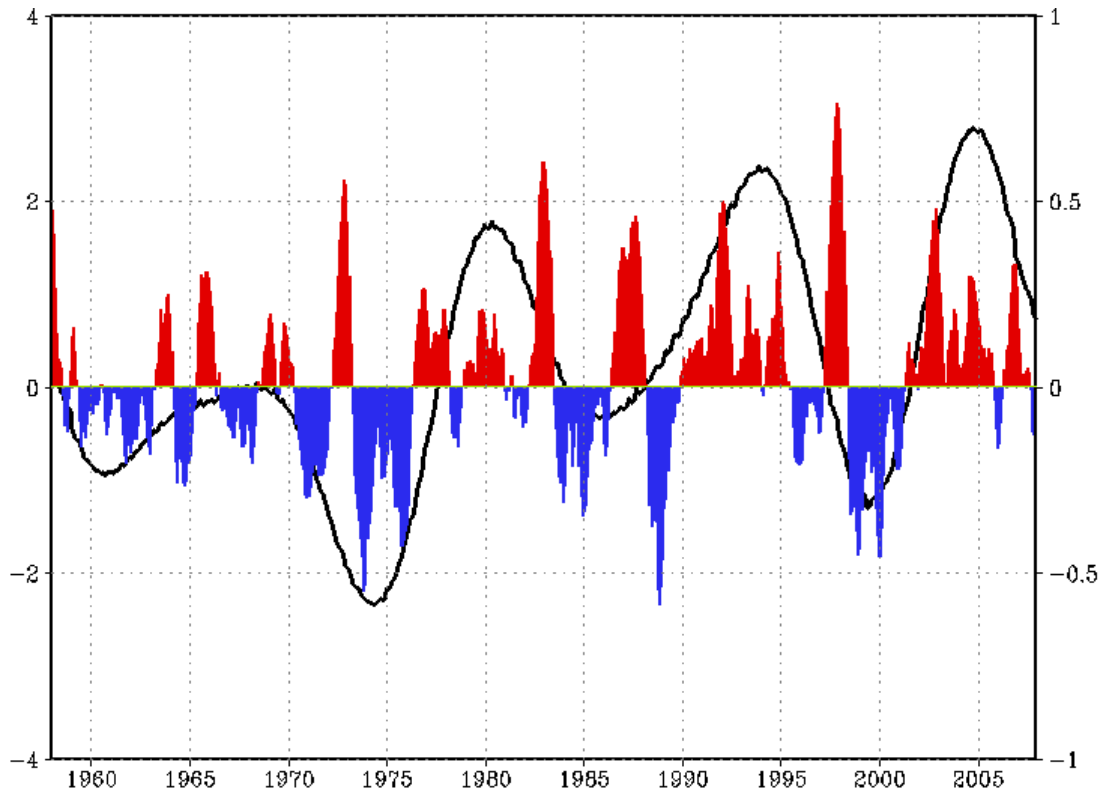


圖 2.2: Niño3.4 區域海表面溫度平均之時間序列圖，紅色陰影代表正距平，藍色代表負距平，黑色實線代表之低頻訊號（八年以上）。縱軸左邊是海表面溫度距平、右邊是經過低頻濾波（八年以上）海溫距平。

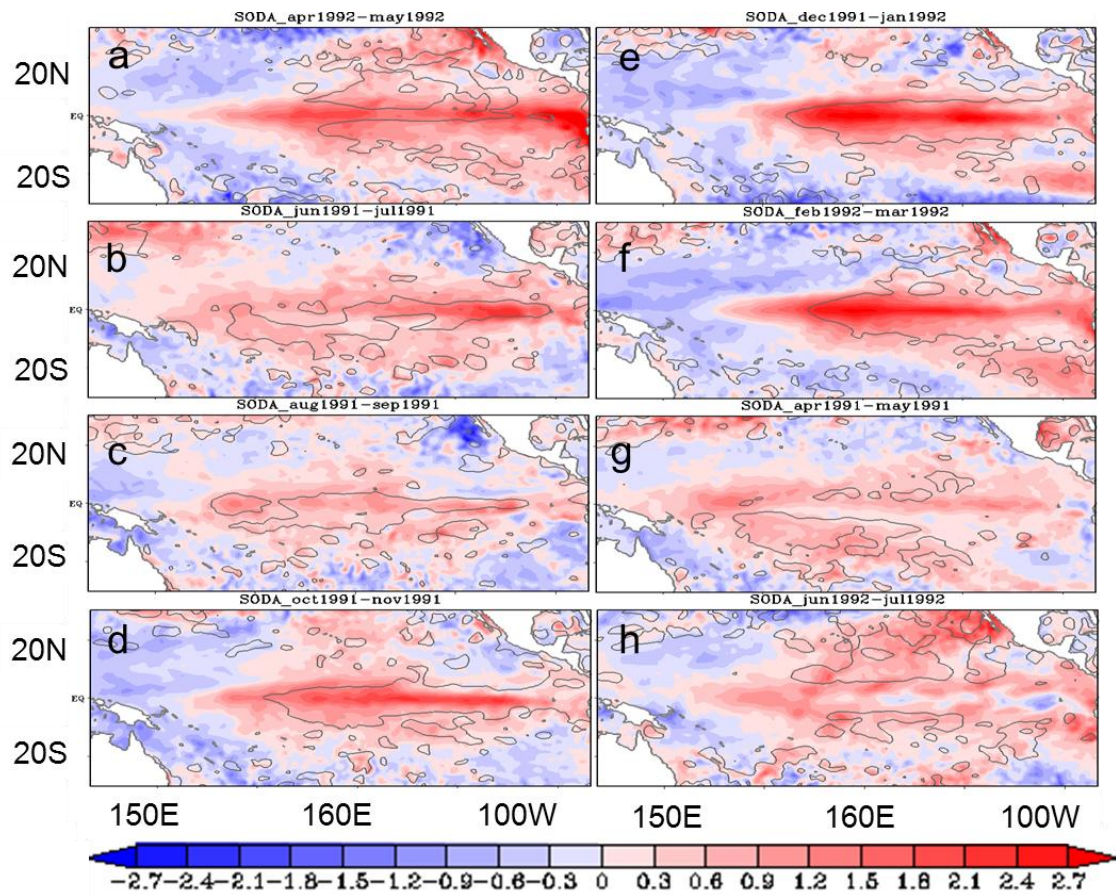


圖 3.1:海表面溫度 (陰影) 與海表面高度 (等值線) 水平圖，等直線間距為 0.3 公尺。(a) Apr1991-May1991、(b) Jun1991-Jul1991 (c) Aug1991-Sep1991、(d) Oct1991-Nov1991、(e) Dec1991-Jan1992、(f)Feb1992-Mar1992、(g)Apr1992-May1992、(h)Jun1992-Jul1992。

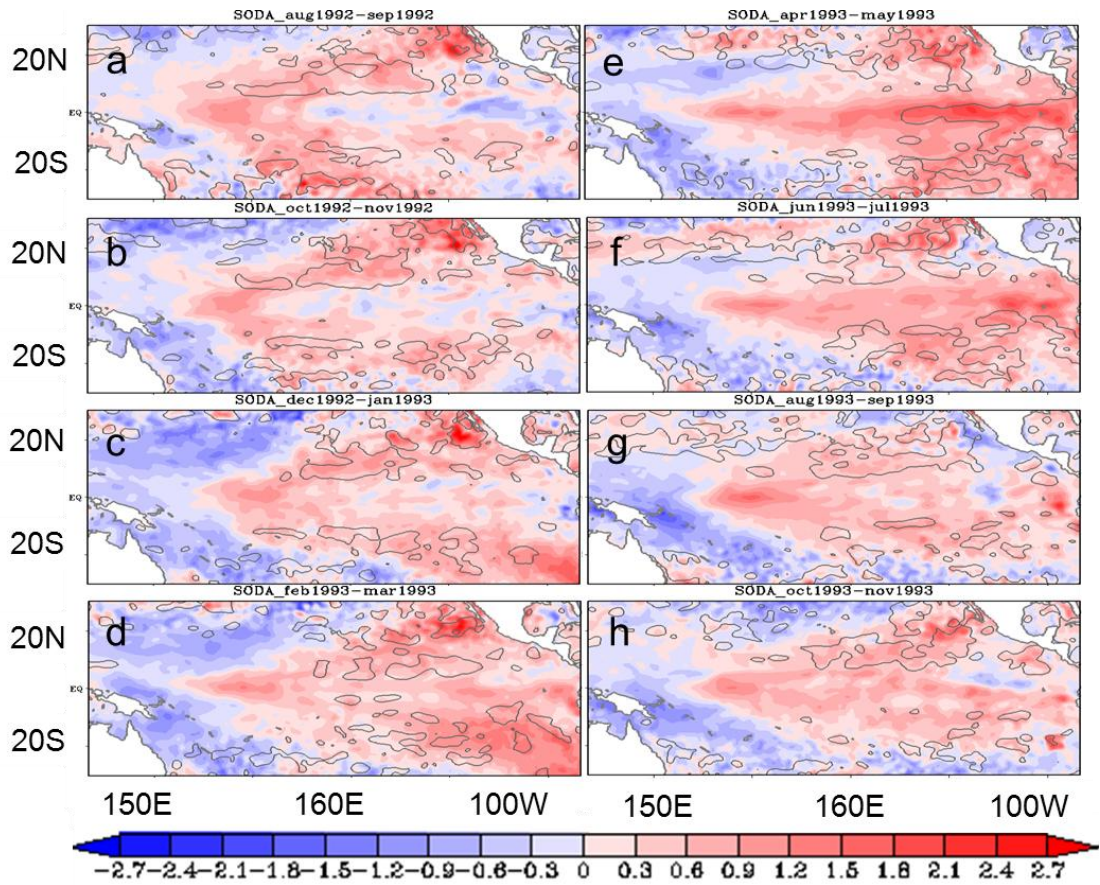


圖 3.2:同圖 3.1,但分別為(a)Aug1992-Sep1992、(b)Oct1992-Nov1992、
 (c)Dec1992-Jan1993、(d)Feb1993-Mar1993、(e)Apr1993-May1993、
 (f)Jun1993-Jul1993、(g)Aug1993-Sep1993、(h)Oct1993-Nov1993。

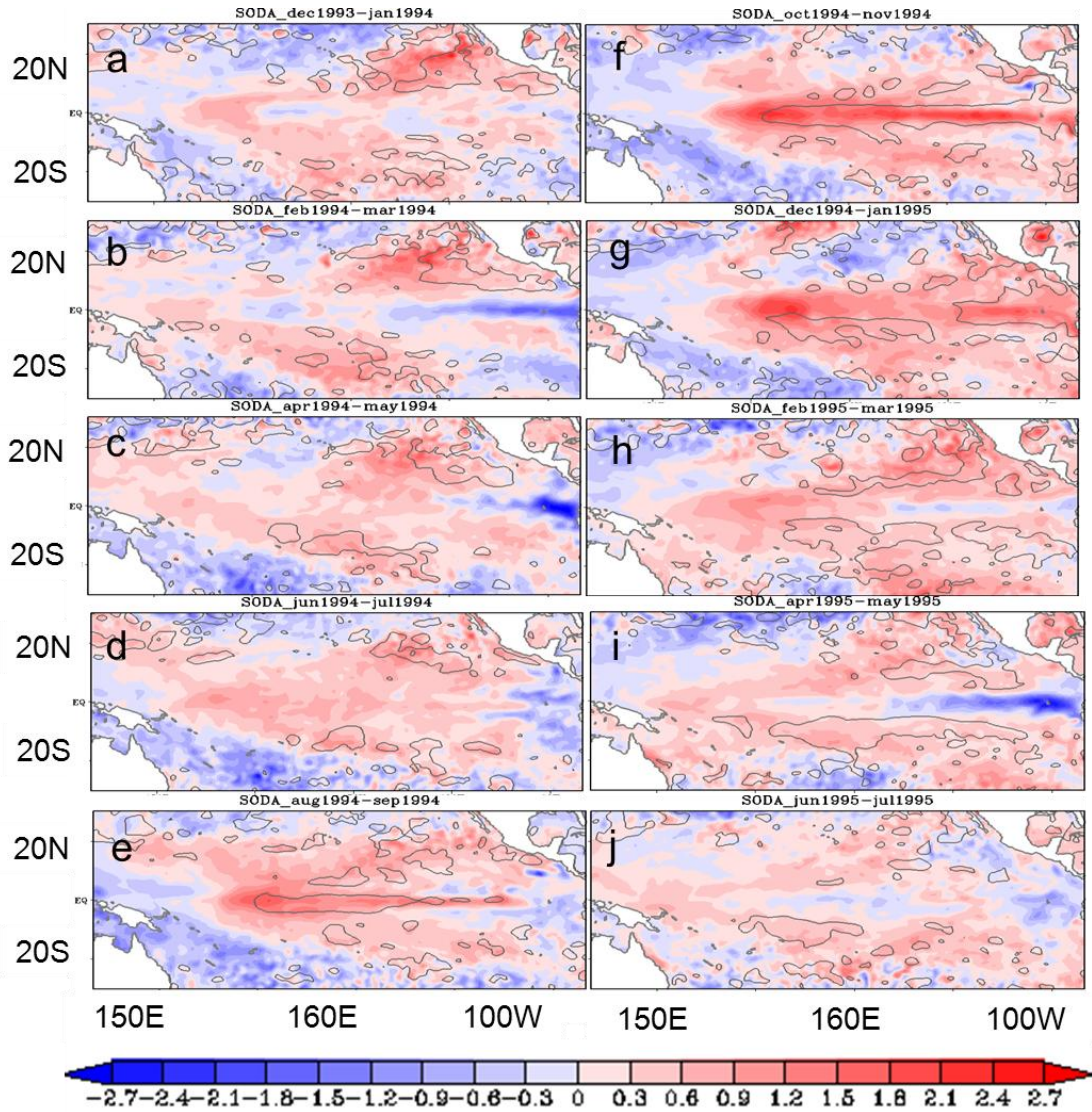


圖 3.3: 同圖 3.1，但分別為 (a) Dec1993-Jan1994、(b) Feb1994-Mar1994、(c) Apr1994-May1994、(d) Jun1994-Jul1994、(e) Aug1994-Sep1994、(f) Oct1994-Nov1994、(g) Dec1994-Jan1995、(h) Feb1995-Mar1995、(i) Apr1995-May1995、(j) Jun1995-Jul1995。

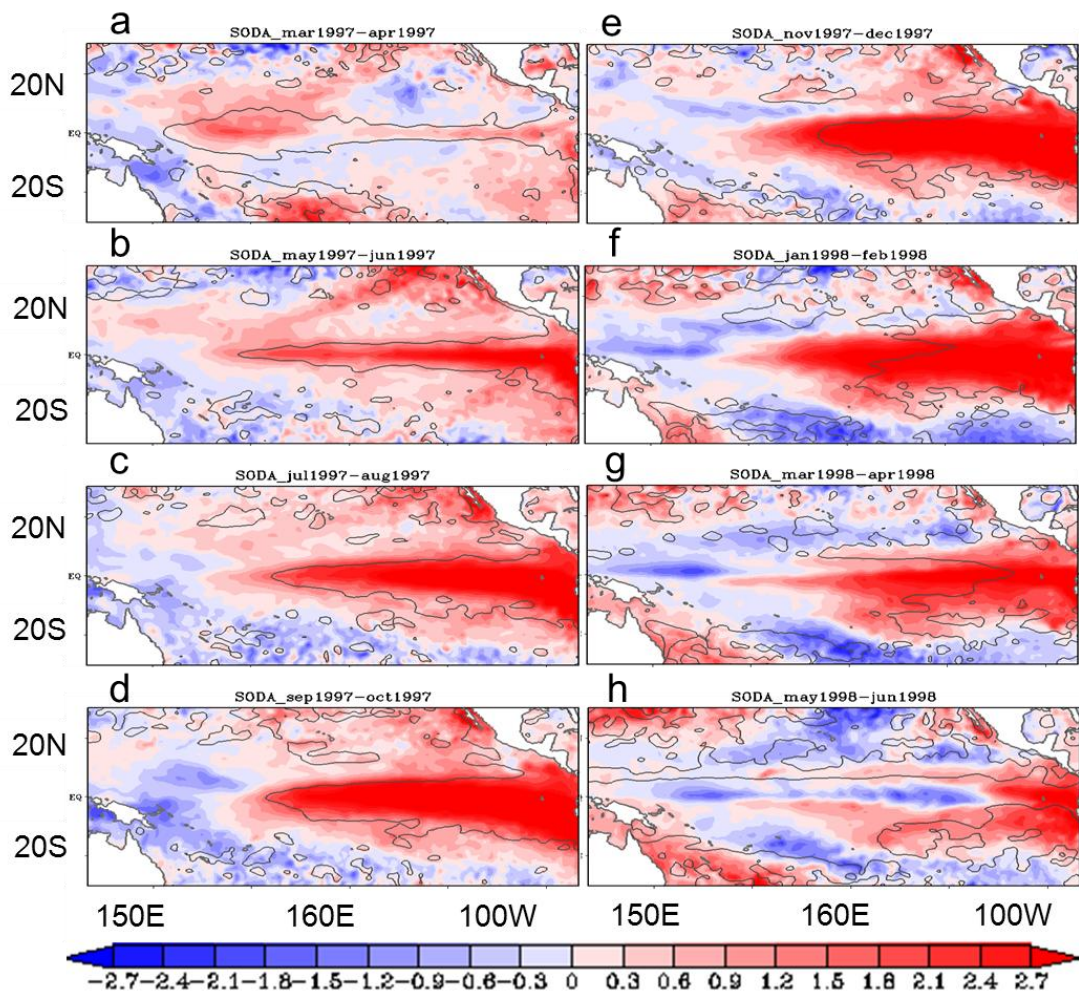


圖 3.4: 同圖 3.1, 但分別為(a)Mar1997-Apr1997、(b)May1997-Jun1997、
 (c)Jul1997-aug1997、(d)Sep1997-Oct1997、(e)Nov1997-Dec1997、
 (f)Jan1997-Feb1998、(g)Mar1998-Apr1998、(h)May1998-Jun1998。

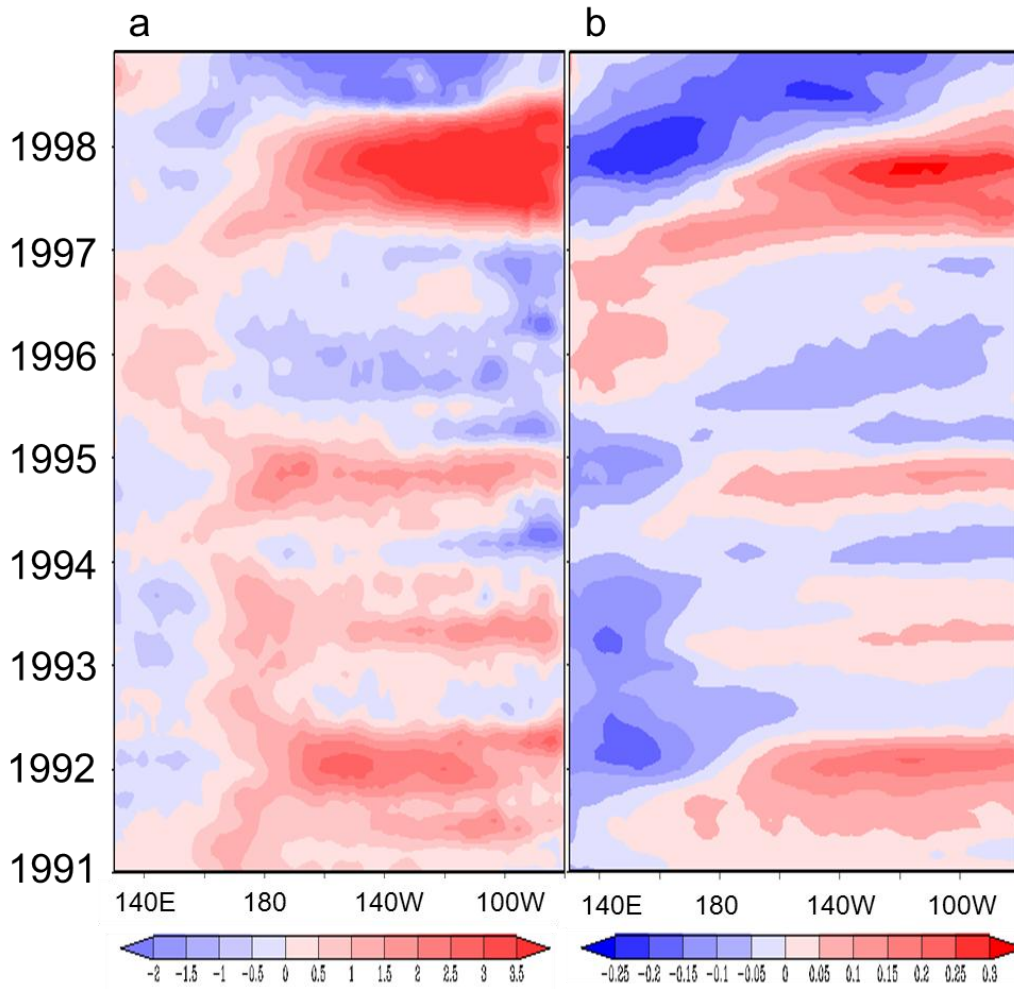


圖 3.5a: 5S 到 5N 之海表面溫度莫哈圖，Jan1991 到 Dec1998，最大最小值為-2 到 3.5，等直線間距 0.5 單位 $^{\circ}\text{C}$ 。b:同 a，但為海表面緯向風切，等直線間距 0.05 單位，單位 N/m^2 。

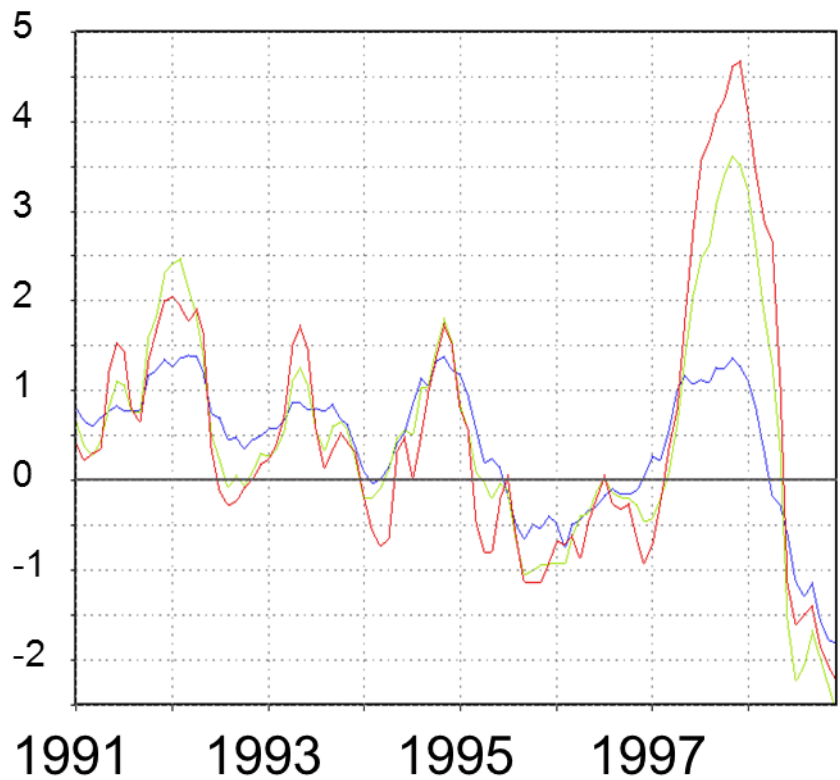


圖 3.6: Niño3、3.4、4 各區域海表面溫度之平均之時間序列圖，橫軸時間從 Jan1991 到 Dec1998，縱軸海溫異常值，紅色代表 Niño3、綠色 Niño3.4、藍色 Niño4。

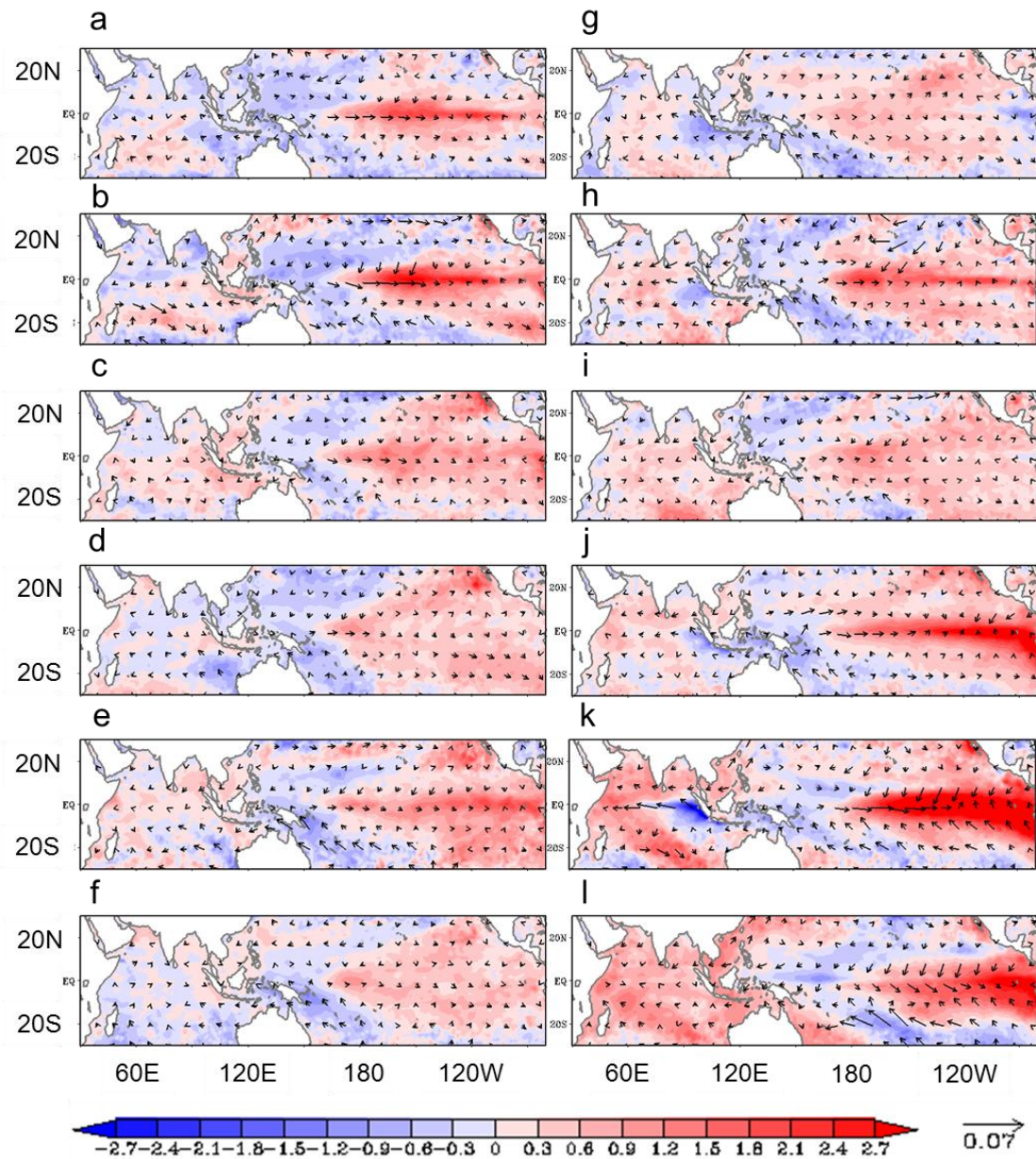


圖 3.7:時間平均水平圖，陰影為海溫，箭頭為風場，等值線間距為 0.3 公尺。(a) Sep1991-Dec1991、(b) Jan1992-Mar1992、(c) Apr1992-Aug1992、(d) Sep1992-Mar1993、(e) Apr1993-Jun1993、(f) Jun1992-Jan1993、(g) Feb1994-Sep1994、(h) Oct1994-Dec1994、(i) Jan1995-Apr1995、(j) Mar1997-Sep1997、(k) Oct1997-Dec1997、(l) Jan1998-Jul1998。

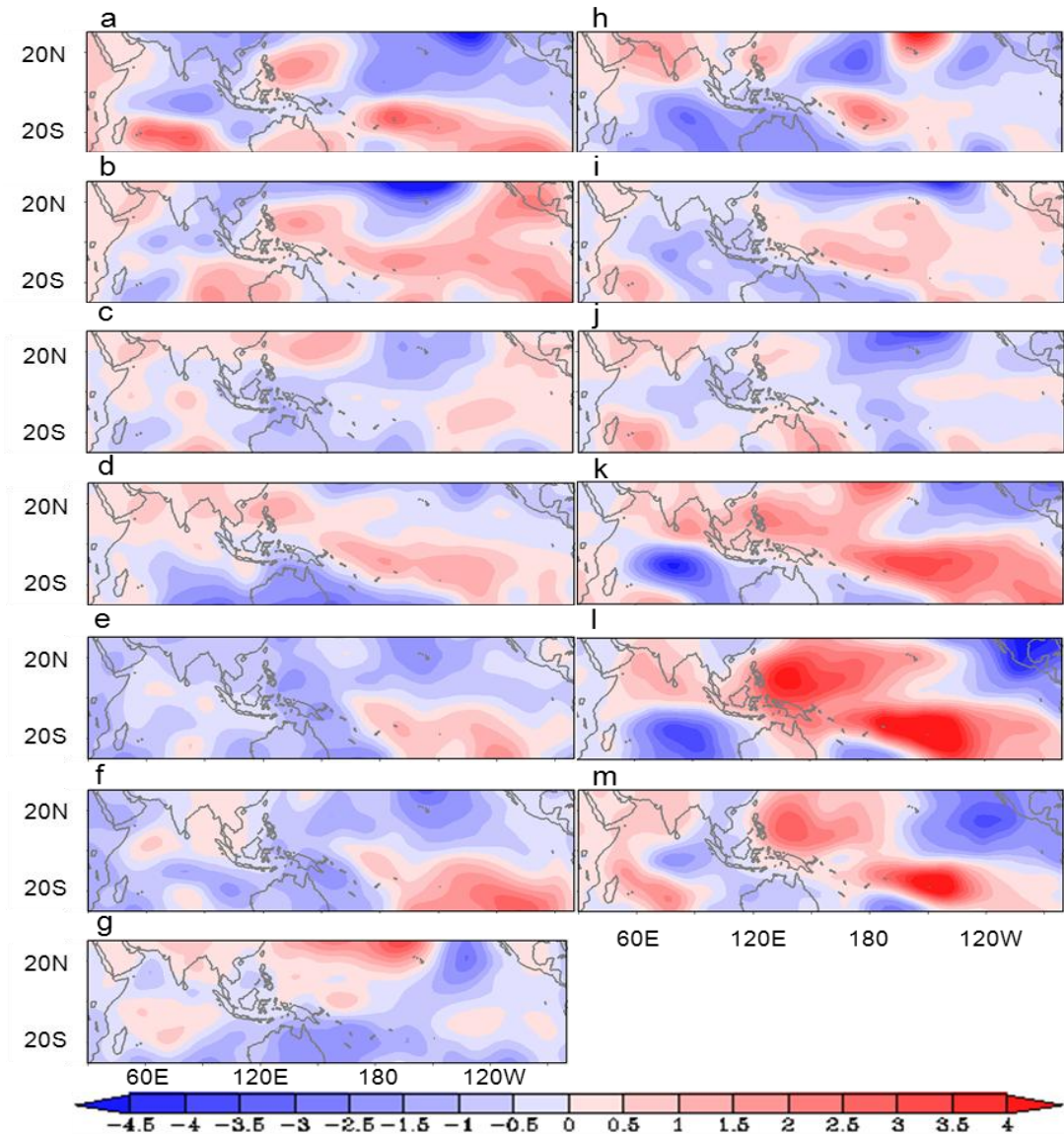


圖 3.8:利用 NOAA 風場資料畫出 1000 百帕之時間平均各消散期的輻散場，以成熟期為起始月，每兩個月做一次平均，每期共三張，等值線間距為 0.5 (a) Feb1992-Mar1992 (b) Apr1992-May1992 (c) Jun1992-Jul1992 (d) May1993-jun1993 (e) Jul1993-Aug1993 (f) Sep1993-Oct1993 (g) Nov1993-Dec1993 (h) Nov1994-Dec1994 (i) Jan1995-Feb1995 (j) Mar1995-Apr1995 (k) Nov1997-Dec1997 (l) Jan1998-Feb1998 (m) Mar1998-Apr1998。

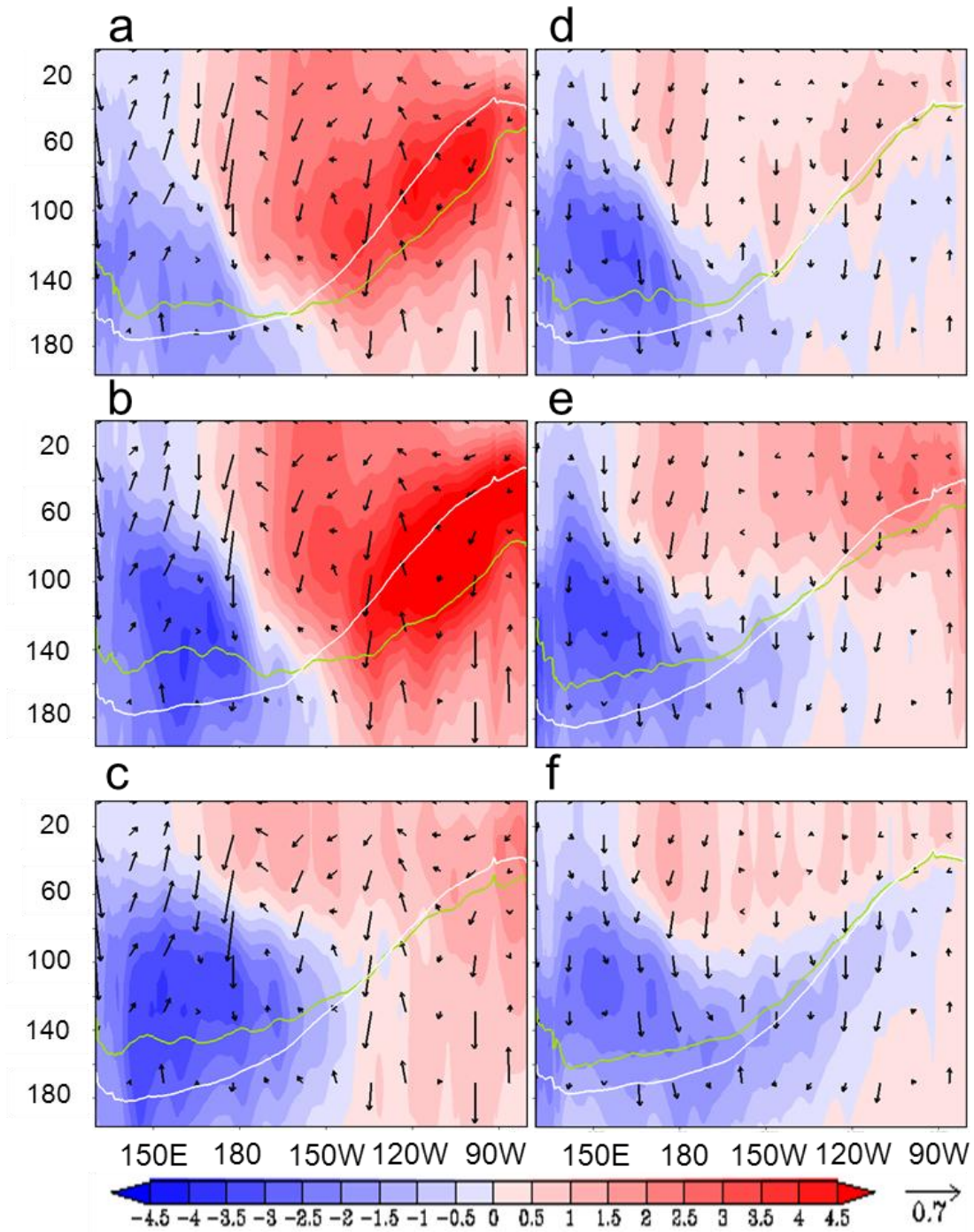


圖 3.9:同圖 3.7a~f，但為垂直剖面圖的洋流（箭頭） $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 與海溫（陰影）平均，深度 0 到 200 公尺，東經 130 度到西經 80 度， 20°C 海溫等值線（綠色實際值；白色氣候值），等直線間距為 0.5°C 。

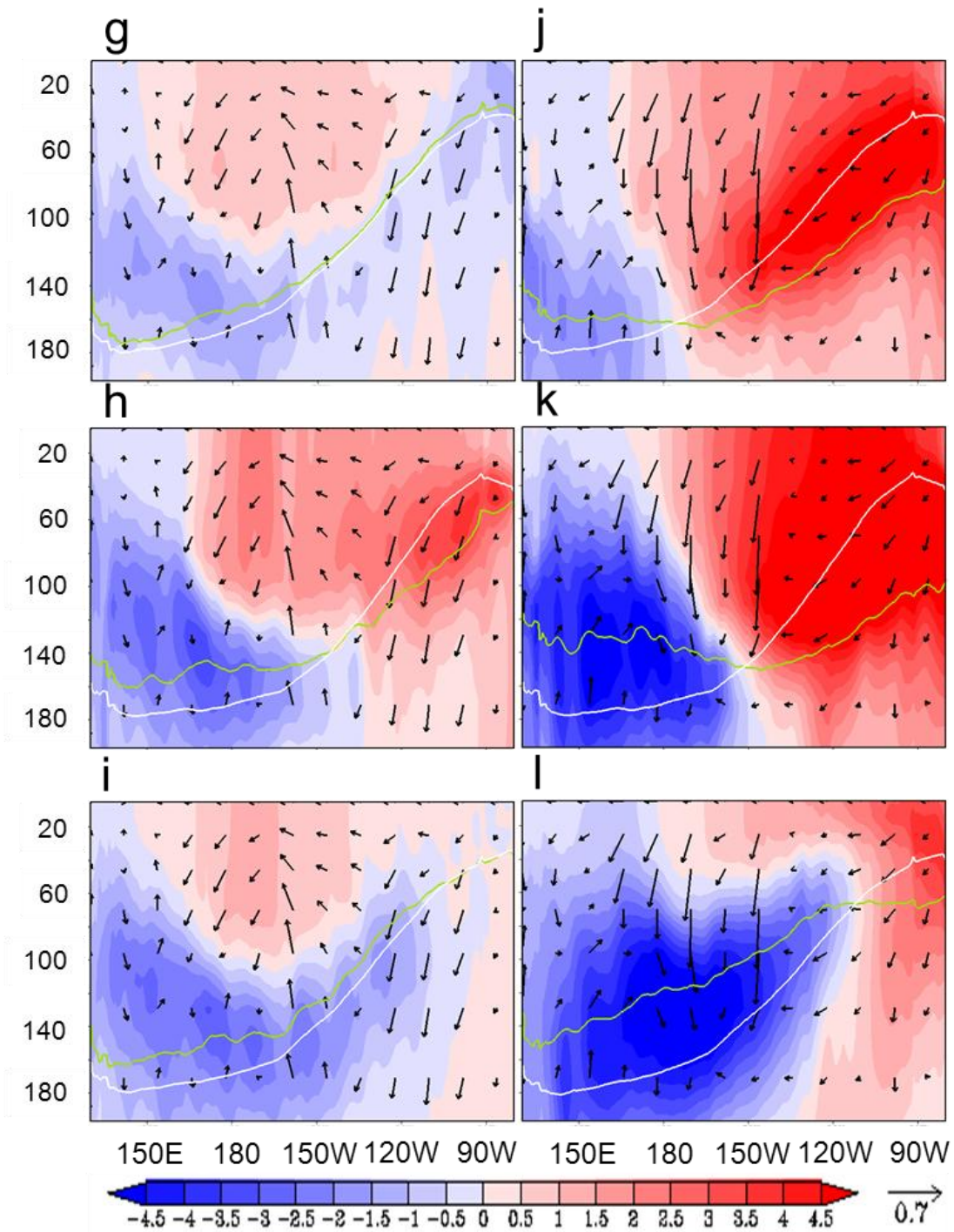


圖 3.10.同圖 3.7g~l，但為垂直剖面圖的洋流（箭頭） $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 與海溫（陰影）平均，深度 0 到 200 公尺，東經 130 度到西經 80 度， 20°C 海溫等值線（綠色實際值；白色氣候值），等直線間距為 0.5°C 。

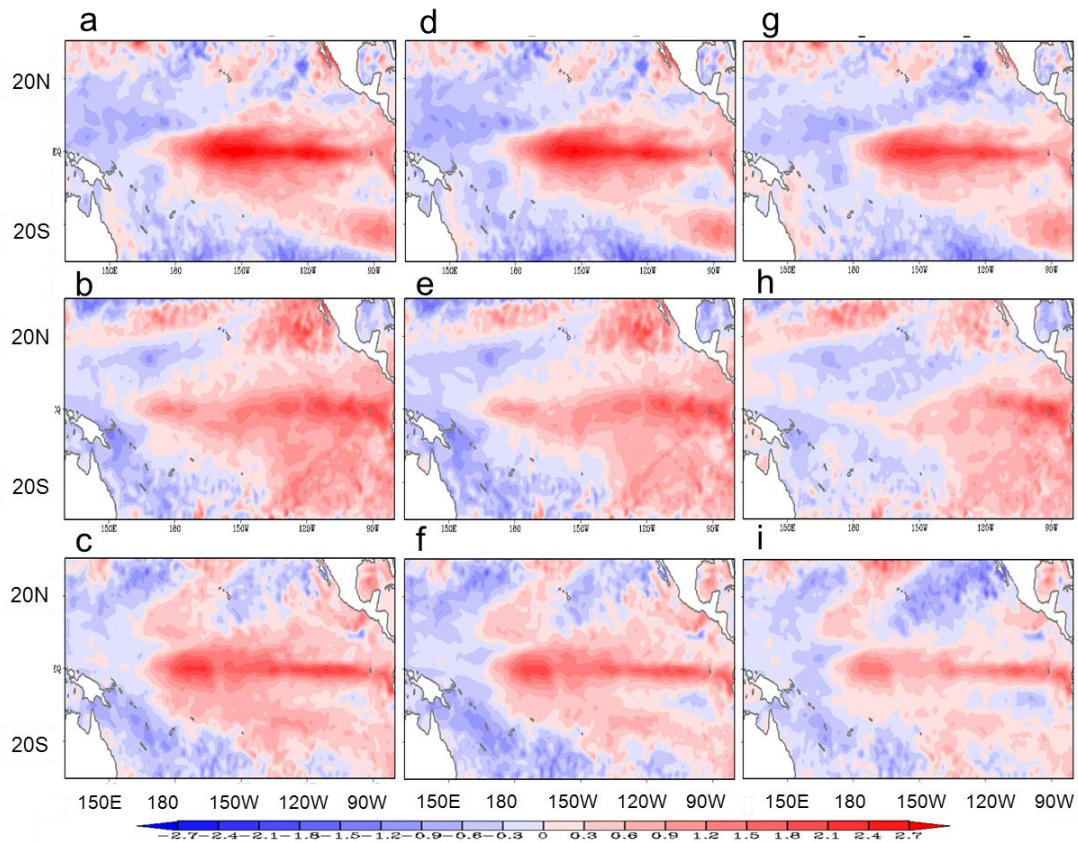


圖 4.1:表 1991、1992、1994 之成熟期的海表面溫度水平圖，等值線間距為 0.3°C ，a~c 是原始資料，時間 Jan1991-Mar1992、d~f 是扣除線性趨勢，時間是 Apr1993-Jun1993，g~i 是扣除低頻訊號(八年以上)，時間是 Oct1994-Dec1994。

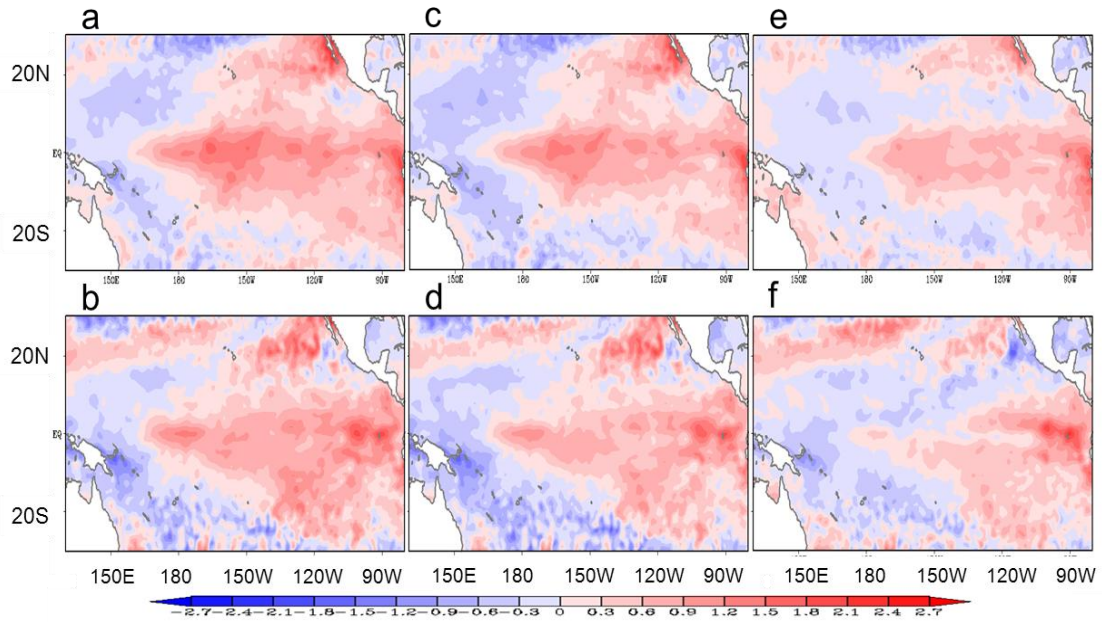


圖 4.2.時間為 1991 與 1993 消散期 (Mar1992-Aug1992、Jul1993-Jan1994), 等值線間距為 0.3°C , a~b 為原始資料海表面溫度, c~d 扣除暖化趨勢, e~f 扣除低頻訊號 (八年以上) 資料。

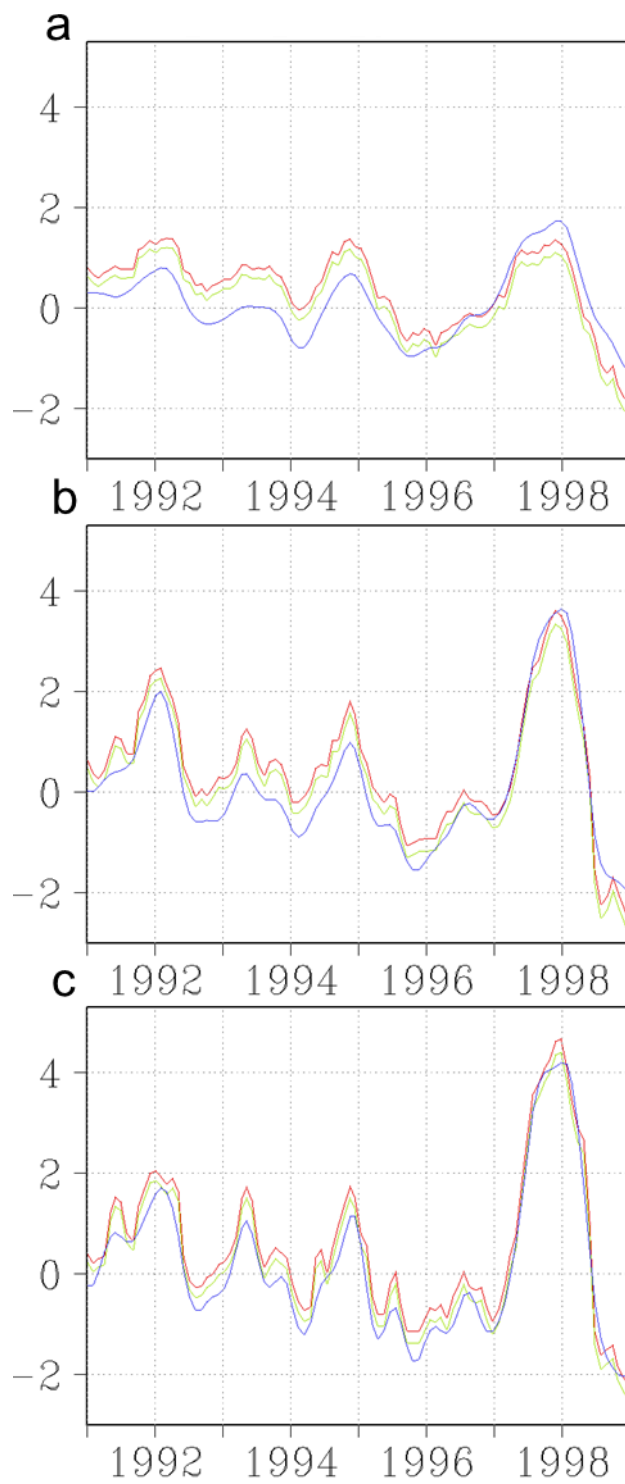


圖 4.3:各 Niño 區域的海表面溫度，時間為 Jan1991 到 Dec1998，紅色為原始資料、綠色為扣除趨勢之資料、藍色線為八年以下訊號資料。
 a: 為 Niño4。b:為 Niño3.4。c:為 Niño3。

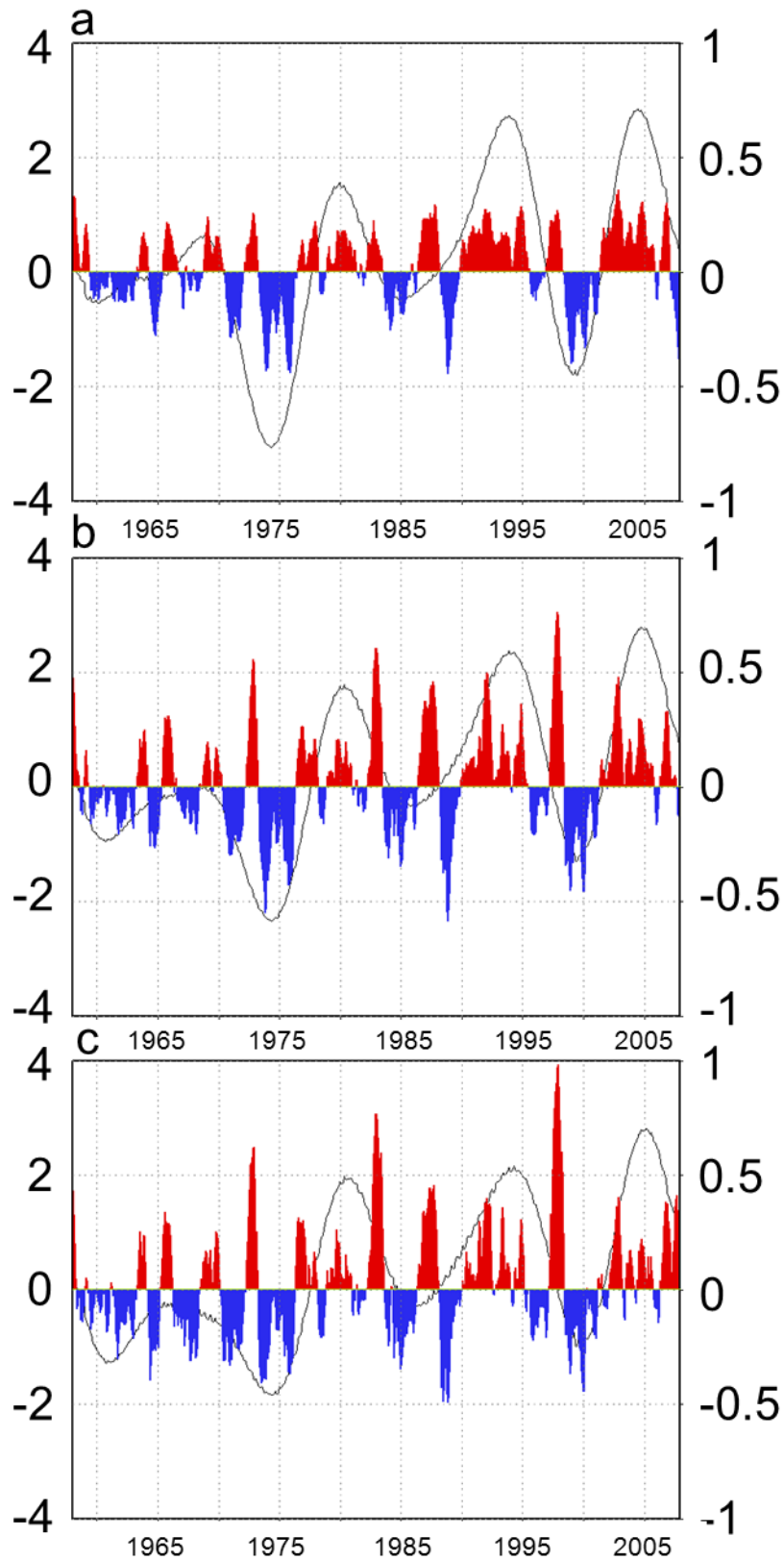


圖 4.4:同圖 4.3，但黑色表示為年代際震盪，紅色為正相位海溫，藍色為負相位海溫。a:為 Niño4。b:為 Niño3.4。c 為 Niño3.4。

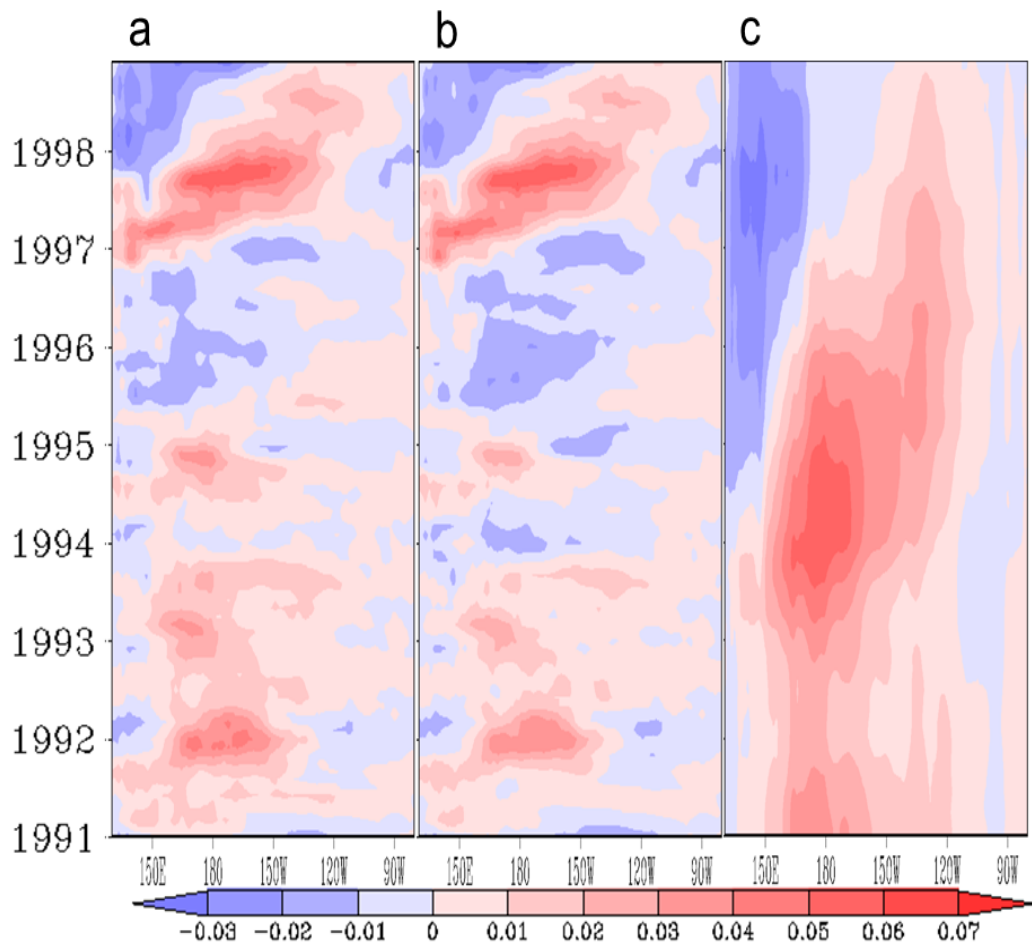


圖 4.5:5S 到 5N 之緯向風切莫哈圖，等值線間距為 0.01，a:原始資料，
b:八年以下資料，c 八年以上資料。

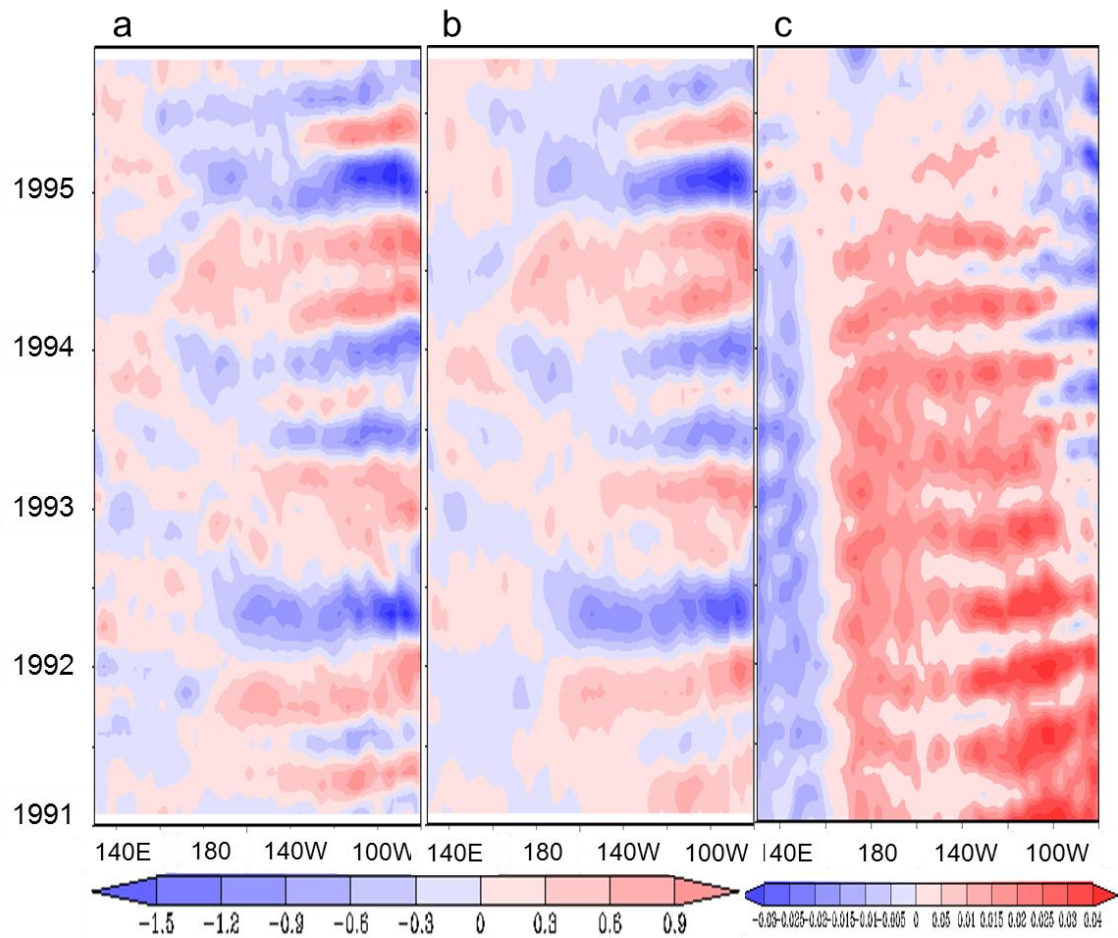


圖 5.1: 2S 到 2N 原始資料海溫加熱項之莫哈圖，時間 Jan1991 到

Dec1995。a: 原始資料，等值線間距為 0.3°C 。b: 八年以下資料，等值

線間距為 0.3°C 。c: 為 a 減 b，等值線間距為 0.005°C 。

海溫趨勢

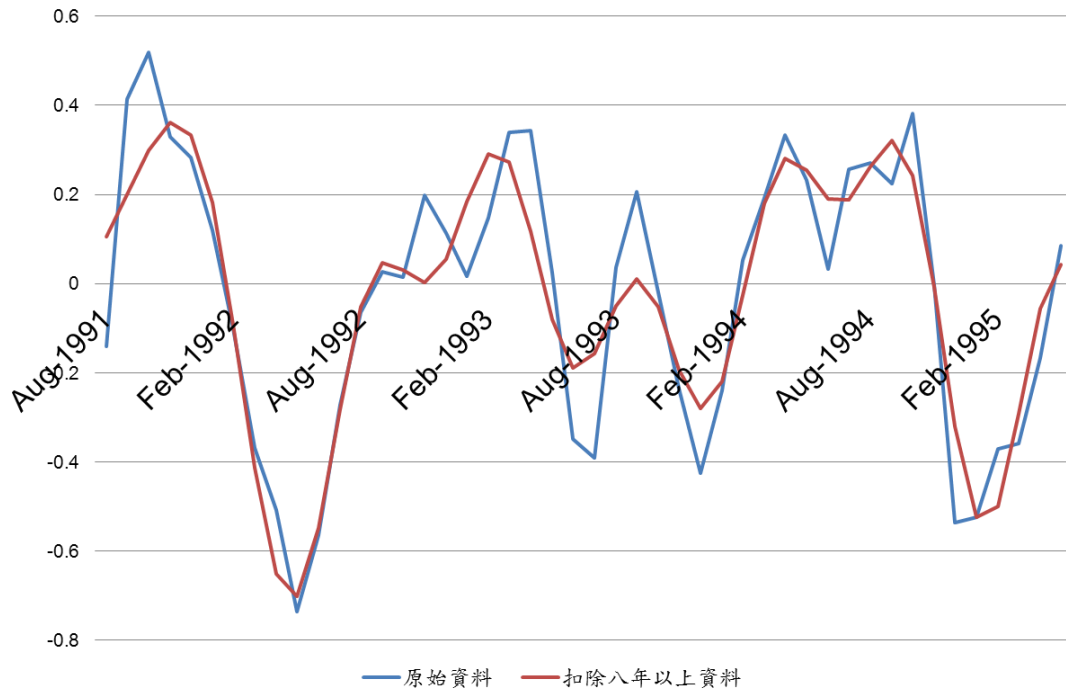


圖 5.2: Niño3.4 溫度趨勢之時間序列圖，Aug1991-May1995。

(2S~2N)。

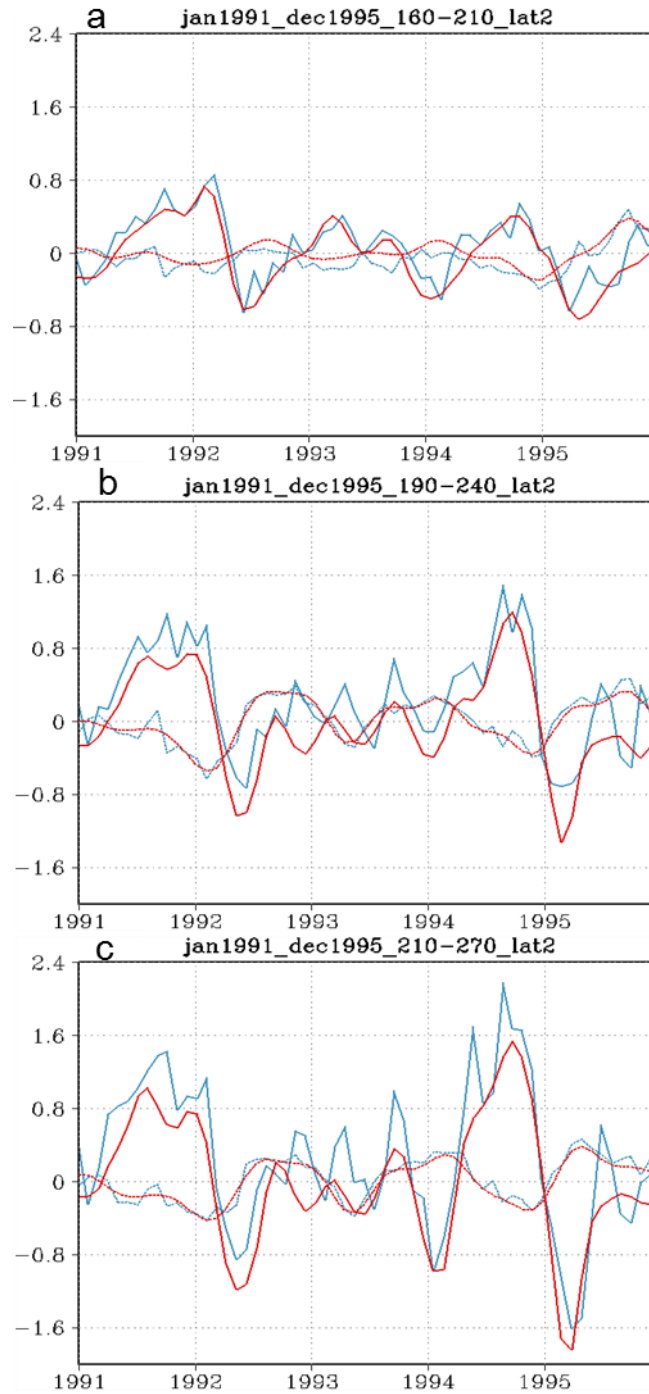


圖 5.3: 海洋平流項的時間序列圖，Jan1991 到 Dec1995，藍色是原始資料、紅色是去除低頻訊號(八年以上)的資料，實線為海洋平流項，虛線為大氣項， $2S \sim 2N$ 。a: Niño4。為 b: 為 Niño3.4。c: 為 Niño3。

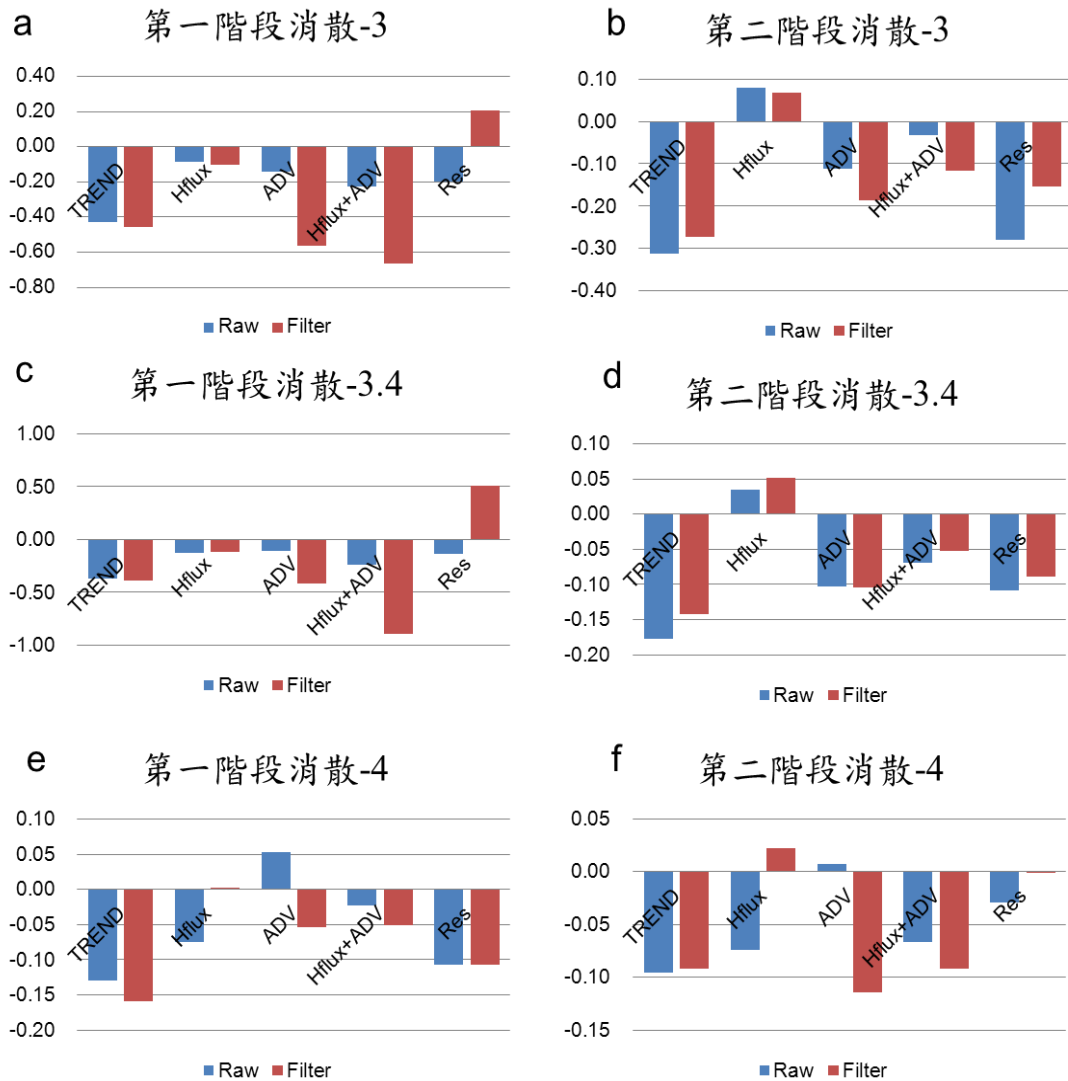


圖 5.4:用熱量收支分析從左到右分別為溫度變化趨勢值 (trend)、大氣熱通量 (w/m^2)、海洋平流項 (adv) 的值 ($^{\circ}C/month$)、大氣加海洋總值與殘餘項，a 到 c 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 的 2S~2N 第一次消散 (Feb1992 到 Aug1992) 區域平均，d 到 f 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 區域的第二次消散 (Jun1993 到 Jan1994)。

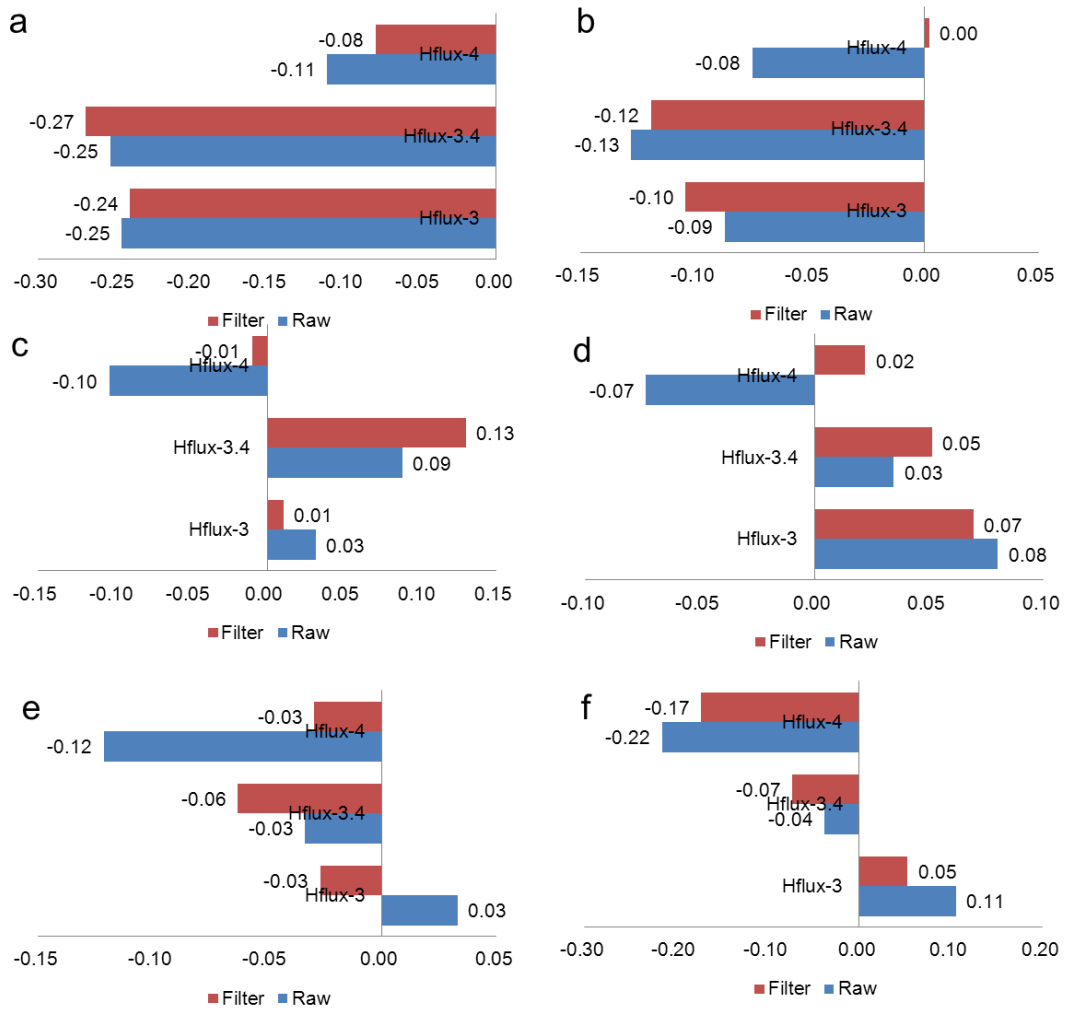


圖 5.5a~b:分別為第一次成長、消散的大氣熱通量 (w/m^2), c~d:第二次成長、消散, e~f:第三次成長、消散。藍色為原始資料, 紅色為八年以下資料, 從下到上分別為 Niño3、Niño3.4、Niño4。

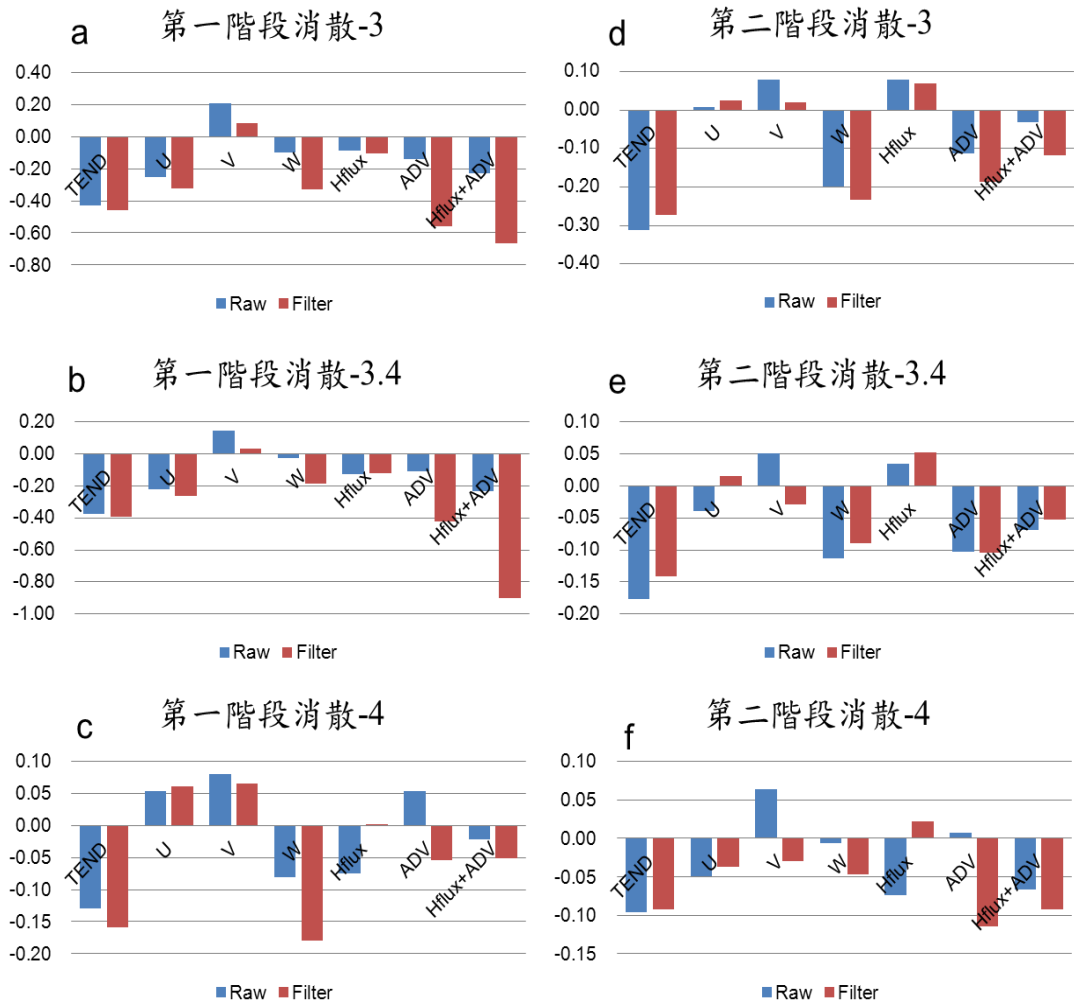


圖 5.6:同圖 5.4，但從左到右分別為溫度變化趨勢值 (trend)、東西向的溫度平流項 (u)、南北向的溫度平流項 (v)、垂直向的溫度平流項 (w)、大氣熱通量 (w/m^2)、海洋平流項 (adv) 的值 ($^{\circ}\text{C}/\text{month}$) 與大氣加海洋總值，a 到 c 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 的 2S~2N 第一次消散 (Feb1992 到 Aug1992) 區域平均，d 到 f 為 Niño3、Niño3.4、Niño4 區域的第二次消散 (Jun1993 到 Jan1994)。參考第二章 (2) 式。

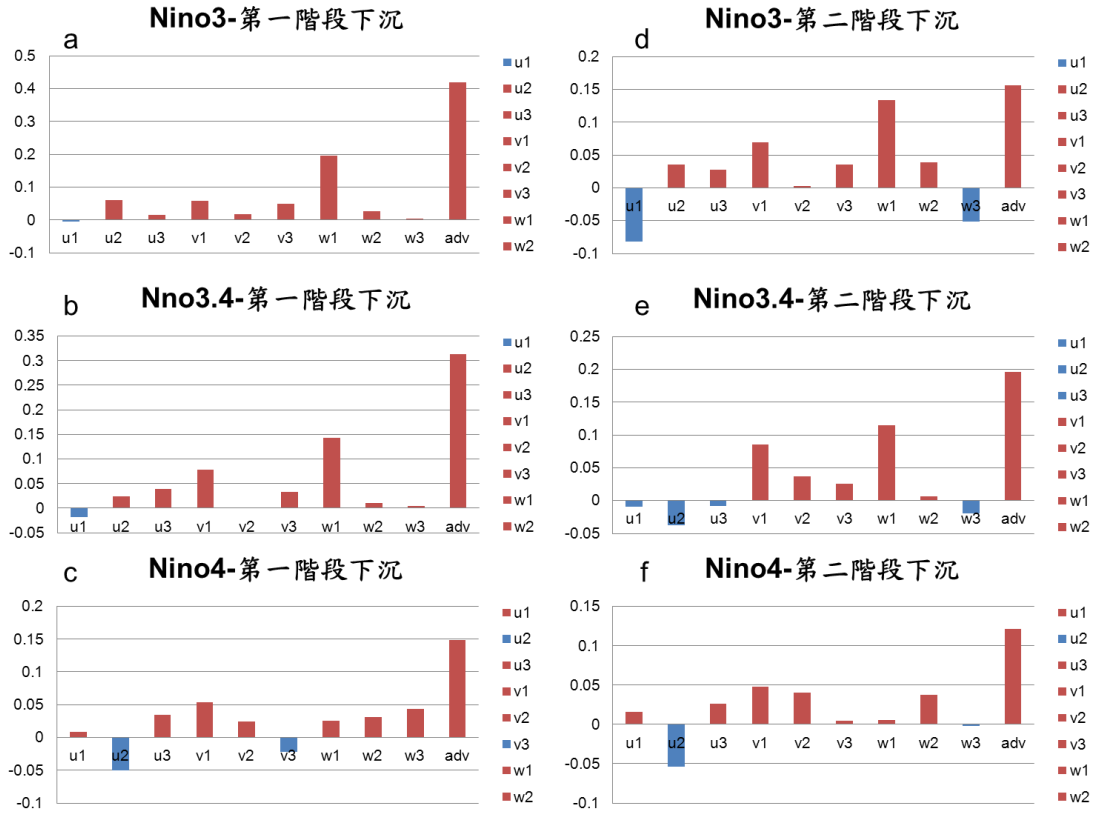


圖 5.7:同圖 5.6 但為各項再細分三項的原始資料減去八年以下資料，

$-u \frac{\partial T'}{\partial x}$ (以下簡稱 u1) 、 $-u' \frac{\partial \bar{T}}{\partial x}$ (以下簡稱 u2) 、 $-u' \frac{\partial T'}{\partial x}$ (以下簡稱 u3) 、 $-v \frac{\partial T'}{\partial y}$ (以下簡稱 v1) 、 $-v' \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$ (以下簡稱 v2) 、 $-v' \frac{\partial T'}{\partial y}$ (以下簡稱 v3) 、 $-w \frac{\partial T'}{\partial z}$ (以下簡稱 w1) 、 $-w' \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$ (以下簡稱 w2) 、 $-w' \frac{\partial T'}{\partial z}$ (以下簡稱 w3) ，各 9 項及海洋總項，紅色色階為大於 0 的值，藍色色階為小於 0 的值。

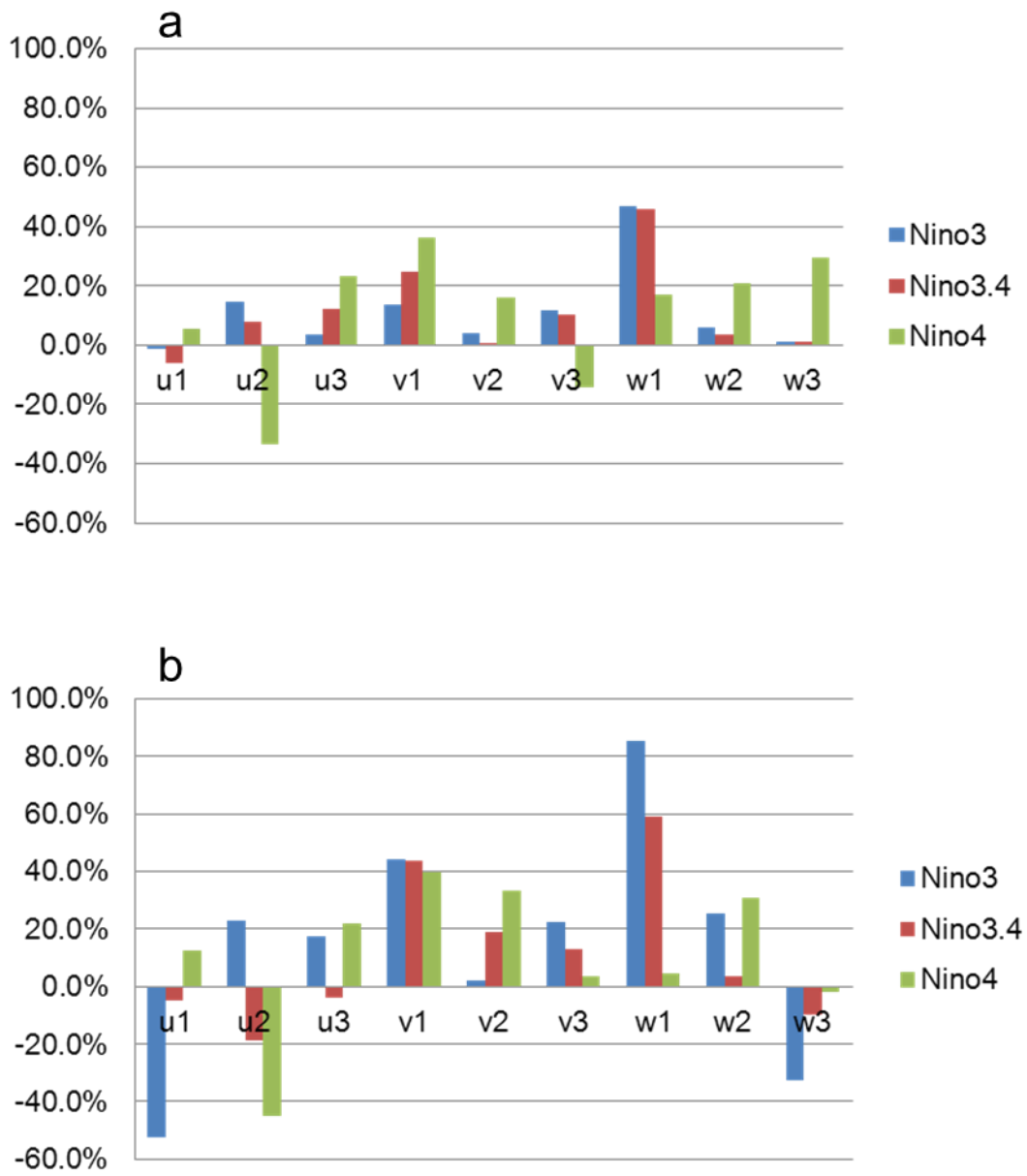


圖 5.8: 第一次消散期之熱量收支 u、v、w 各項百分比貢獻度統計圖。

a: 第一次消散期。 b: 第二次消散期。

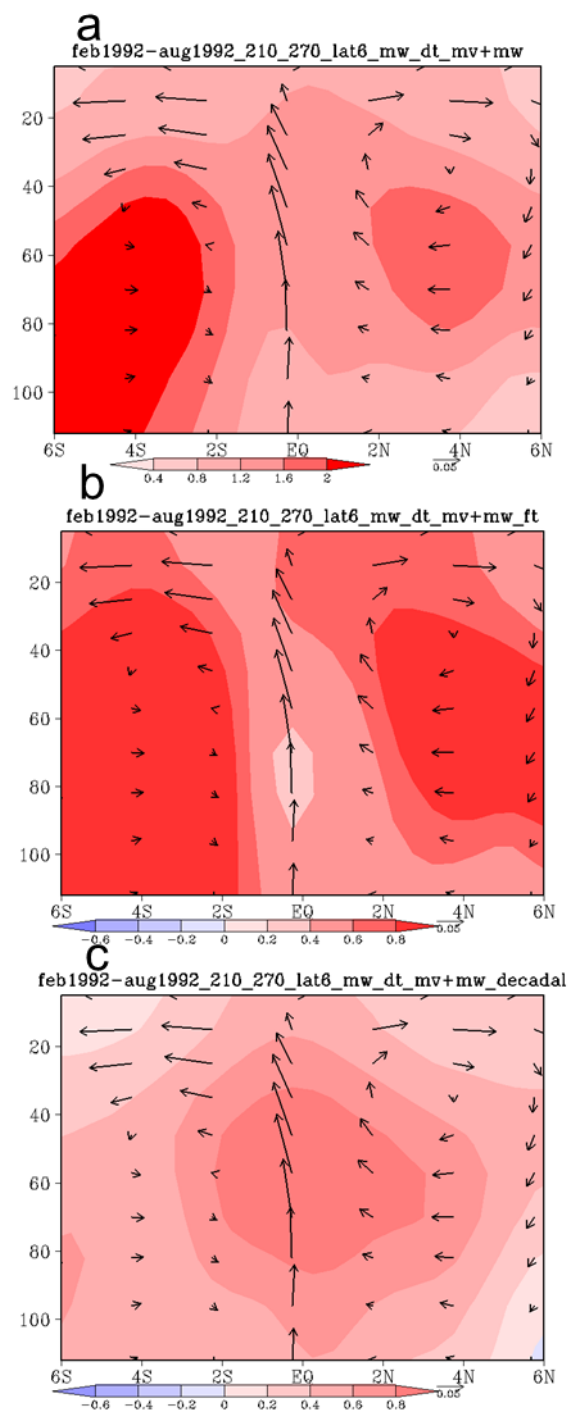


圖 5.9: Niño3 的 w1 的經度剖面、陰影為異常值溫度 ($^{\circ}\text{C}$)，等值線間距為 0.2°C 、箭頭為氣候值的垂直及經度方向的海流 (m/s)，a 表示原始資料，b 表示慮波後的資料，c 表示 a-b。(w1 可參考圖 5.7)

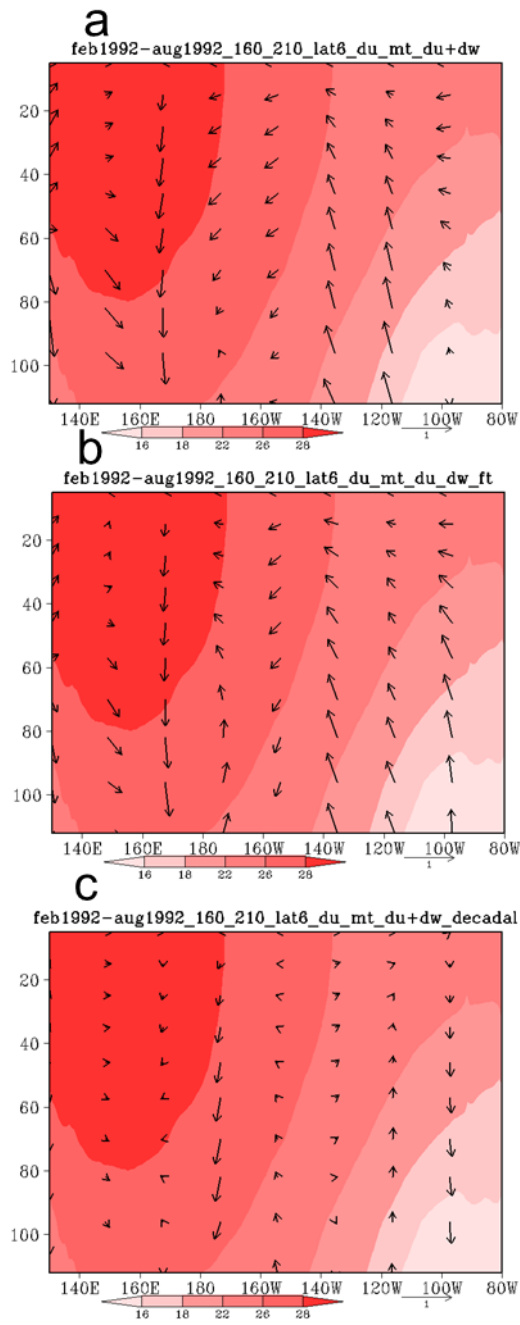


圖 5.10: 同圖 5.9 但為 Niño4 的 u_2 。(參考圖 5.7)

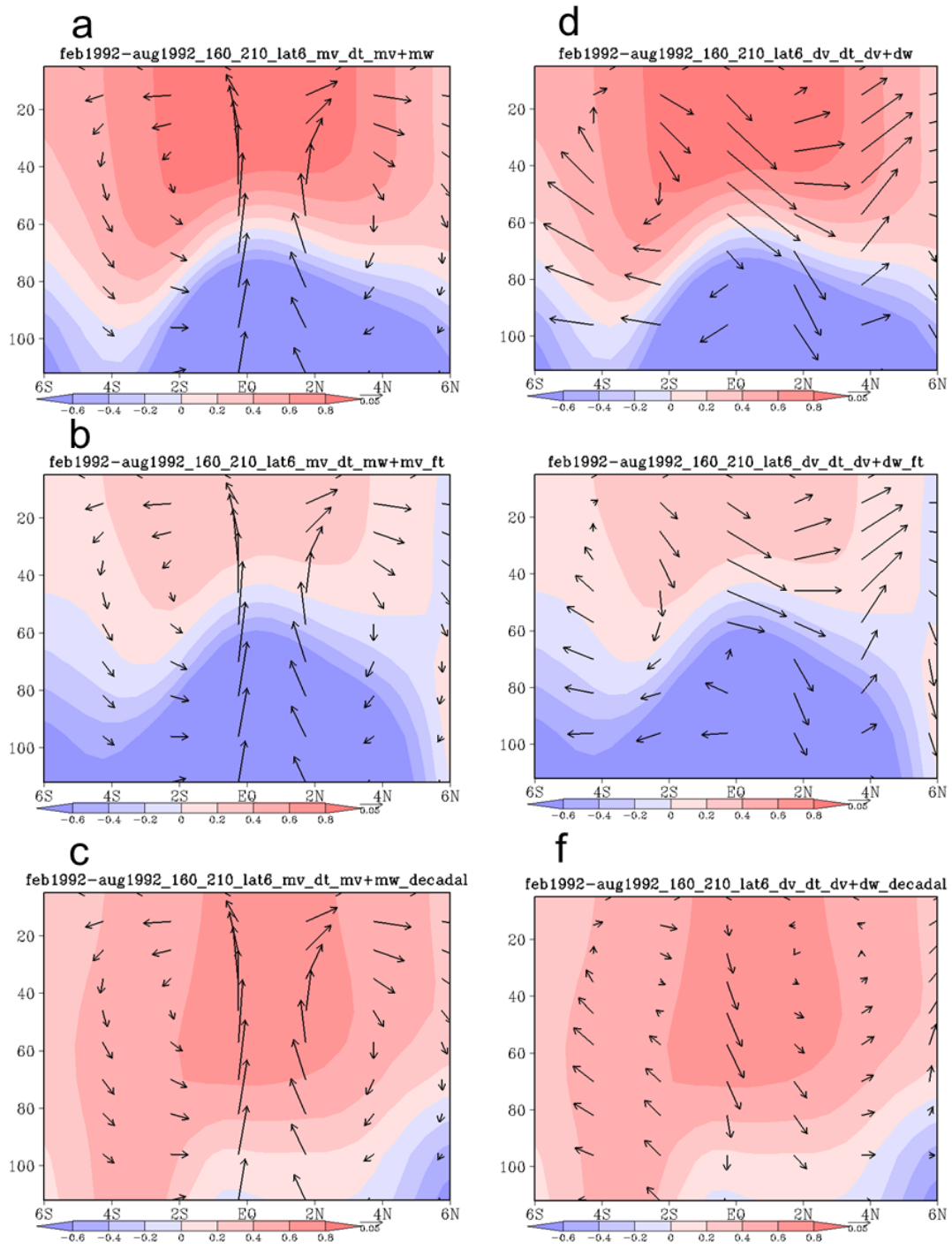


圖 5.11:同圖 5.10 但為 v_1 、 v_3 。(參考圖 5.7)

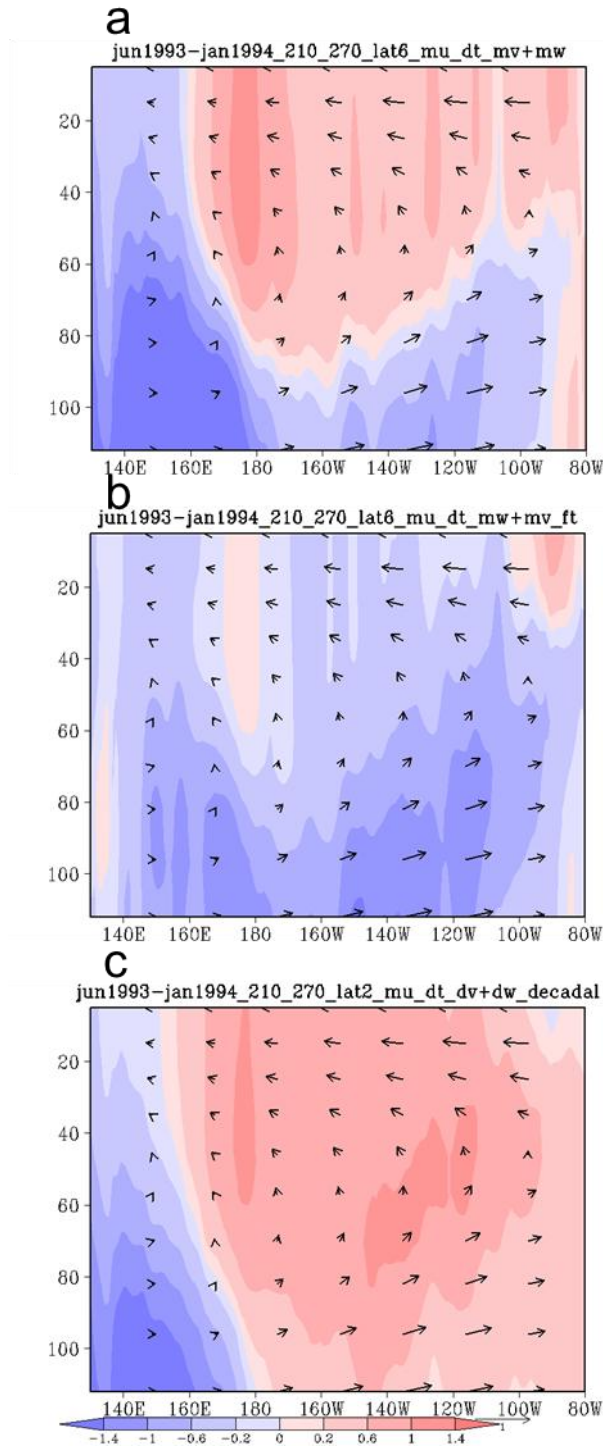


圖 5.12:區域範圍為 Nion3，時間為 Jun1993 到 Jan1994。a~c 為 Niño3 的 $u1$ 的緯度剖面、陰影為異常值海溫 ($^{\circ}\text{C}$)，等值線間距為 0.2°C 、箭頭為氣候值的垂直及經度方向的海流 (m/s)，a 表示原始資料，b 表示慮波後的資料，c 表示 a-b。(參考圖 5.7)

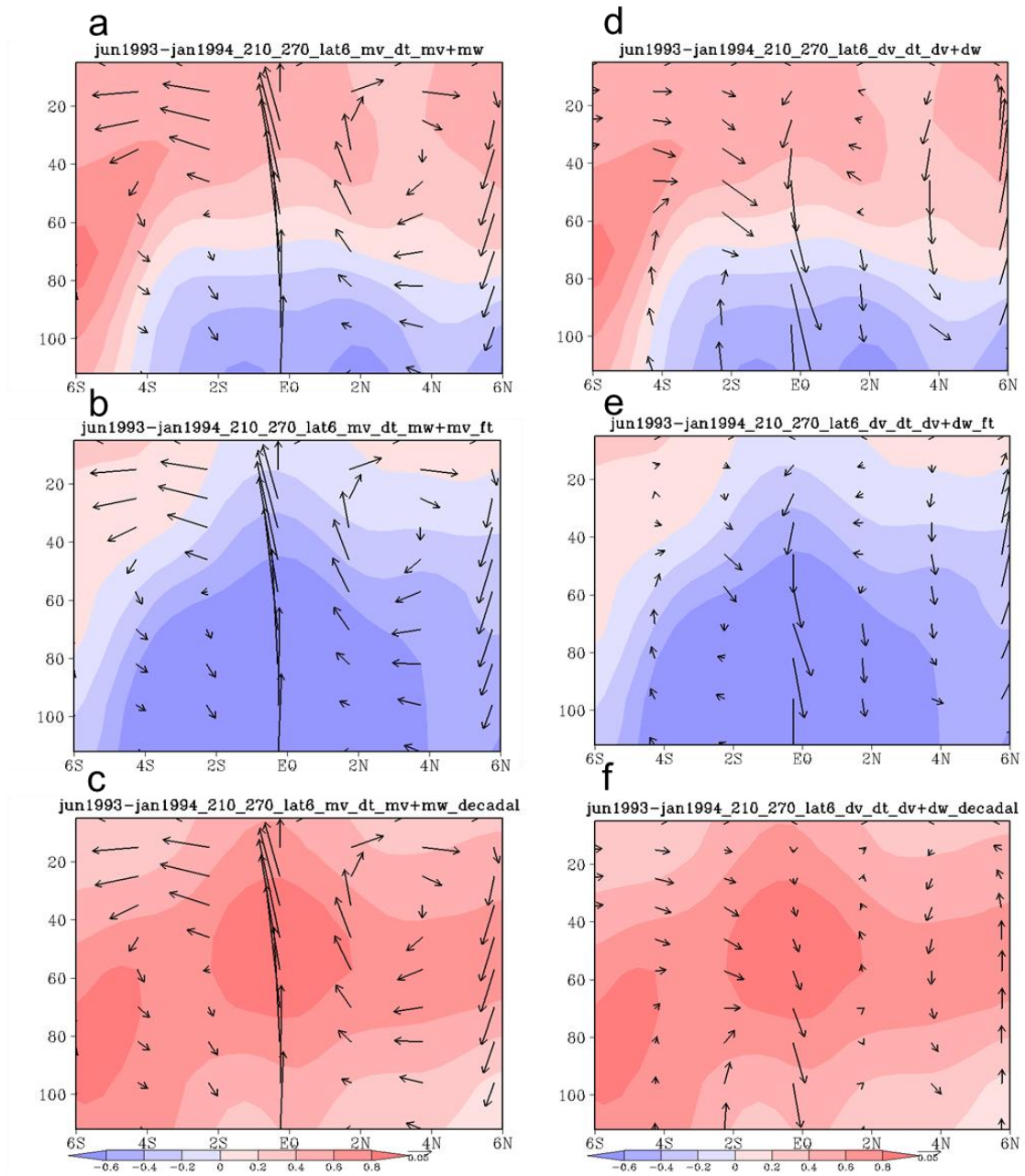


圖 5.13:同圖 5.11 但為 w_1 、 w_3 。(參考圖 5.7)

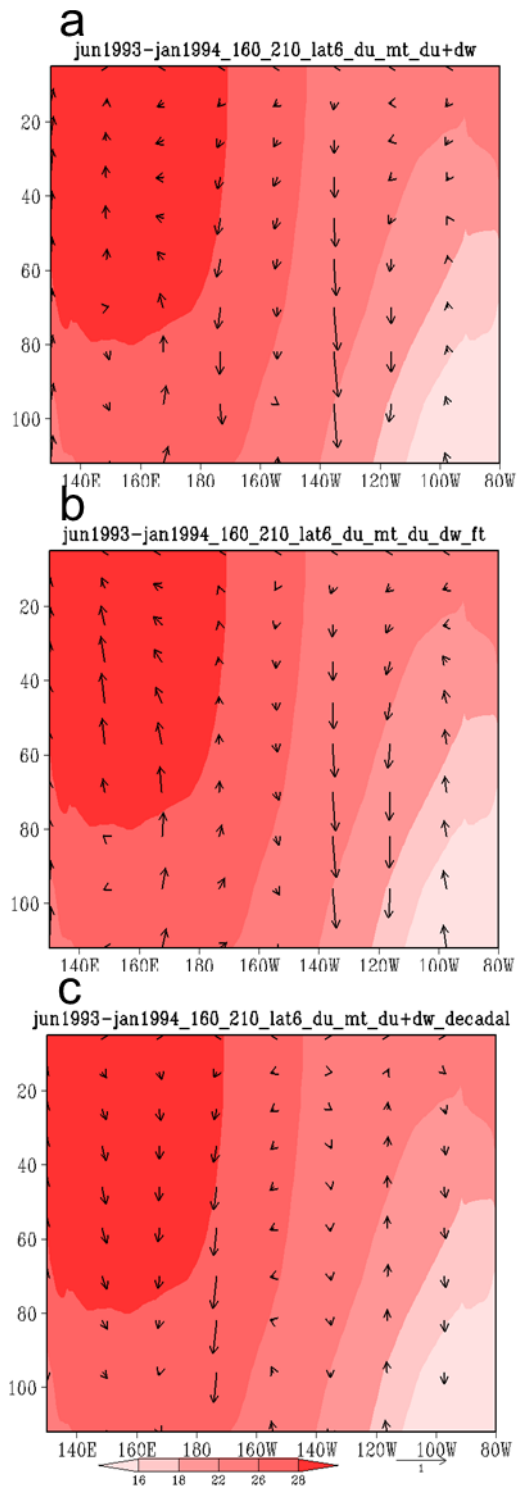


圖 5.14: 同 5.12 但為 Niño4 區域 u2。 (參考圖 5.7)

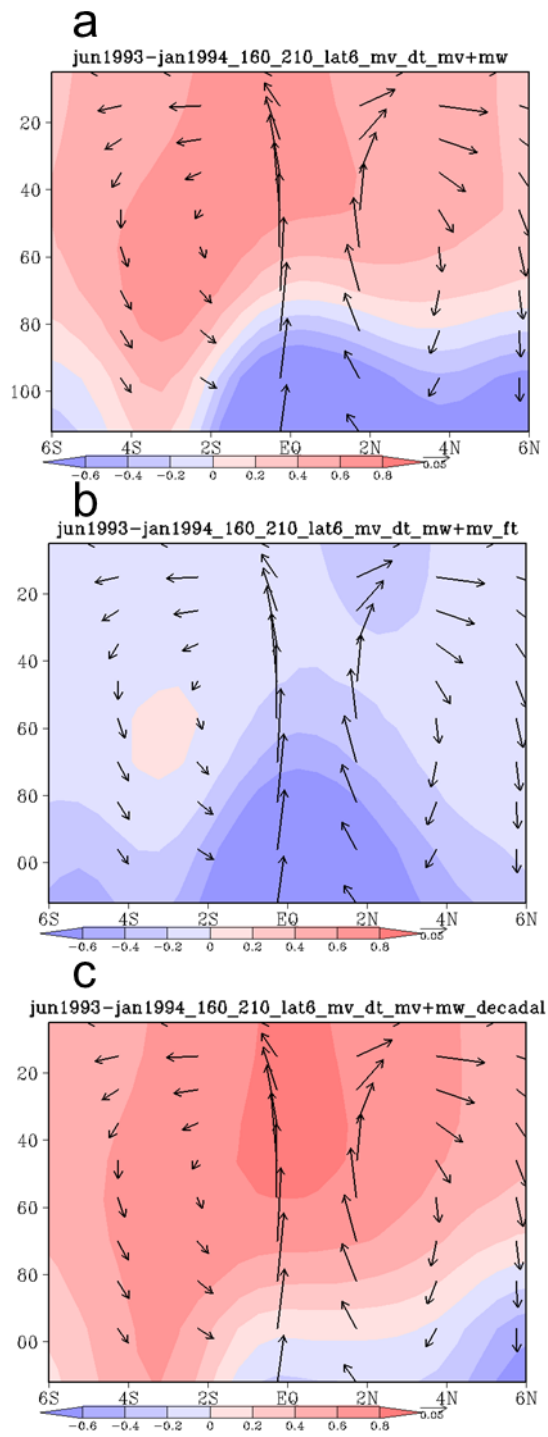


圖 5.15: 同 5.12 但為 Niño4 區域 v1。(參考圖 5.7)

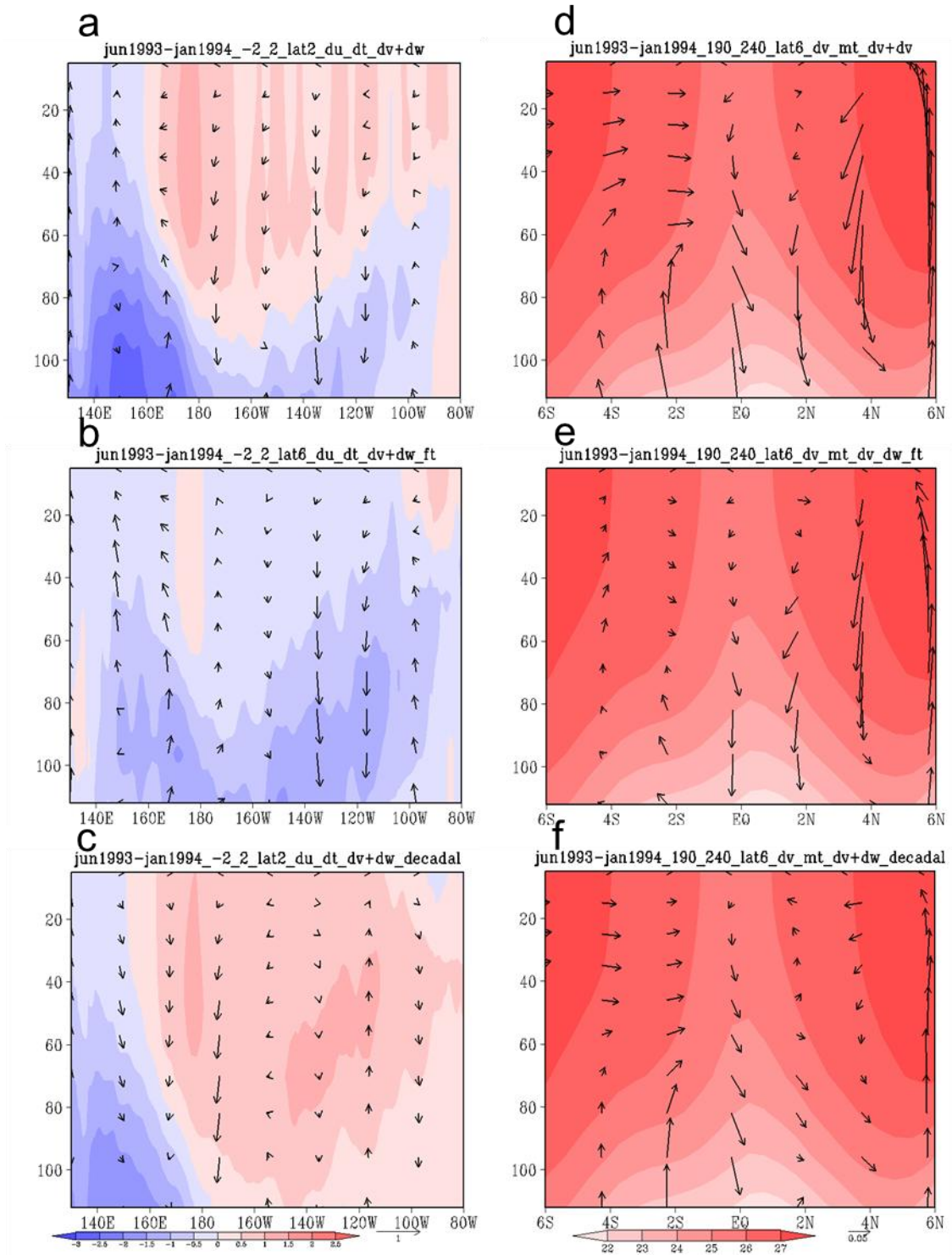


圖 5.16 同 5.14a~c 但為 u_3 。d~f 是 w_2 。(參考圖 5.7)

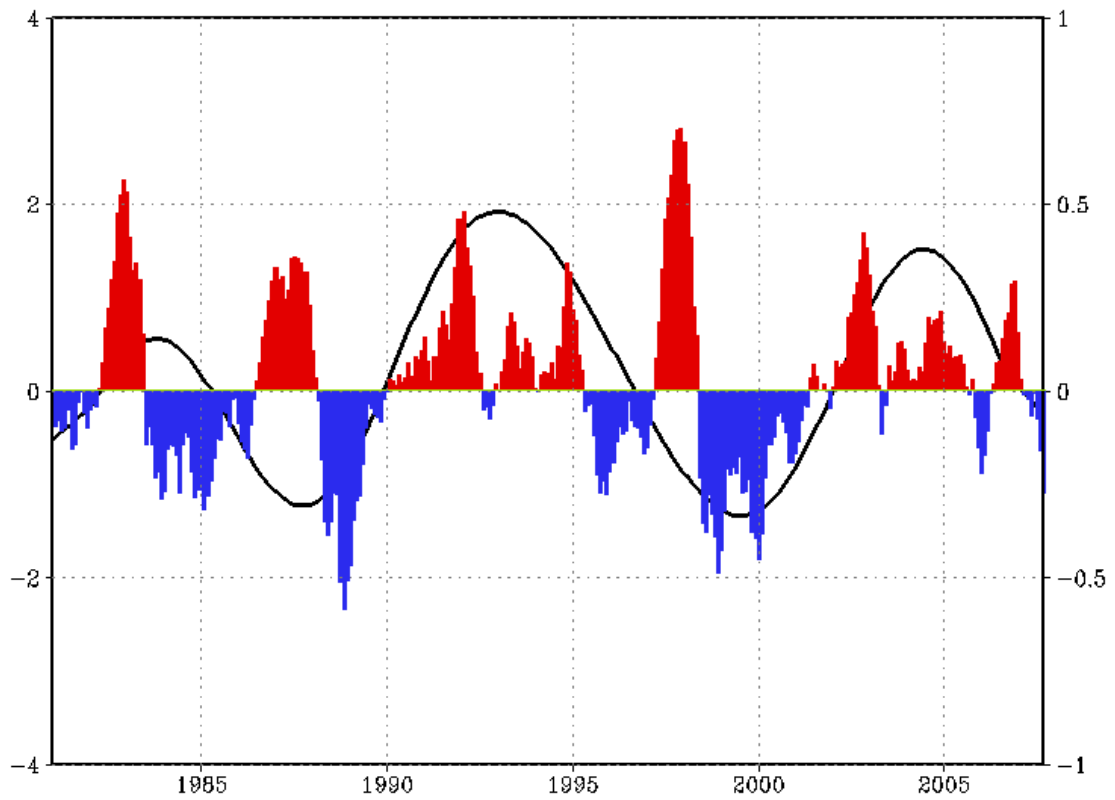


圖 5.17:同圖 4.5 但為 GODAS 資料，時間從 Jan1980 到 Sep2008 的 Niño3.4。

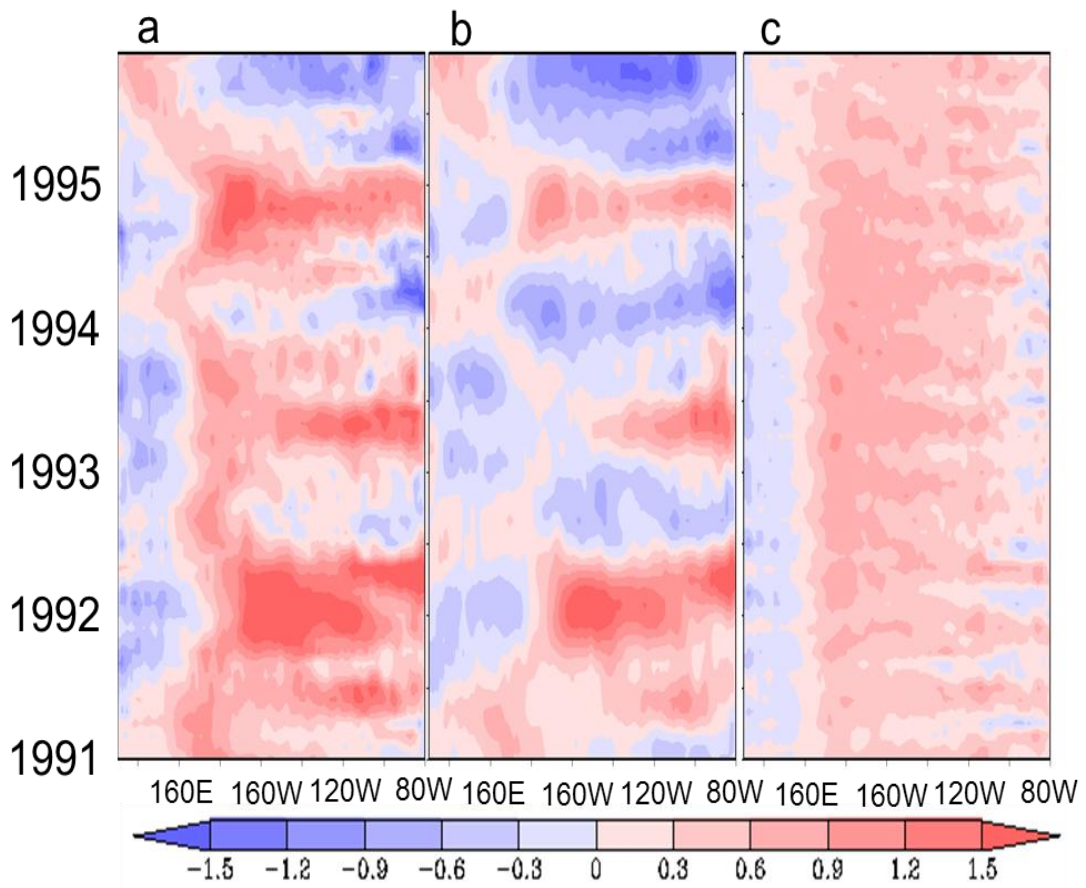


圖 5.18:同圖 5.1 但為 SODA 資料的海表面異常值溫度之莫哈圖。a: 原始資料，b:八年以下資料，c:a-b。

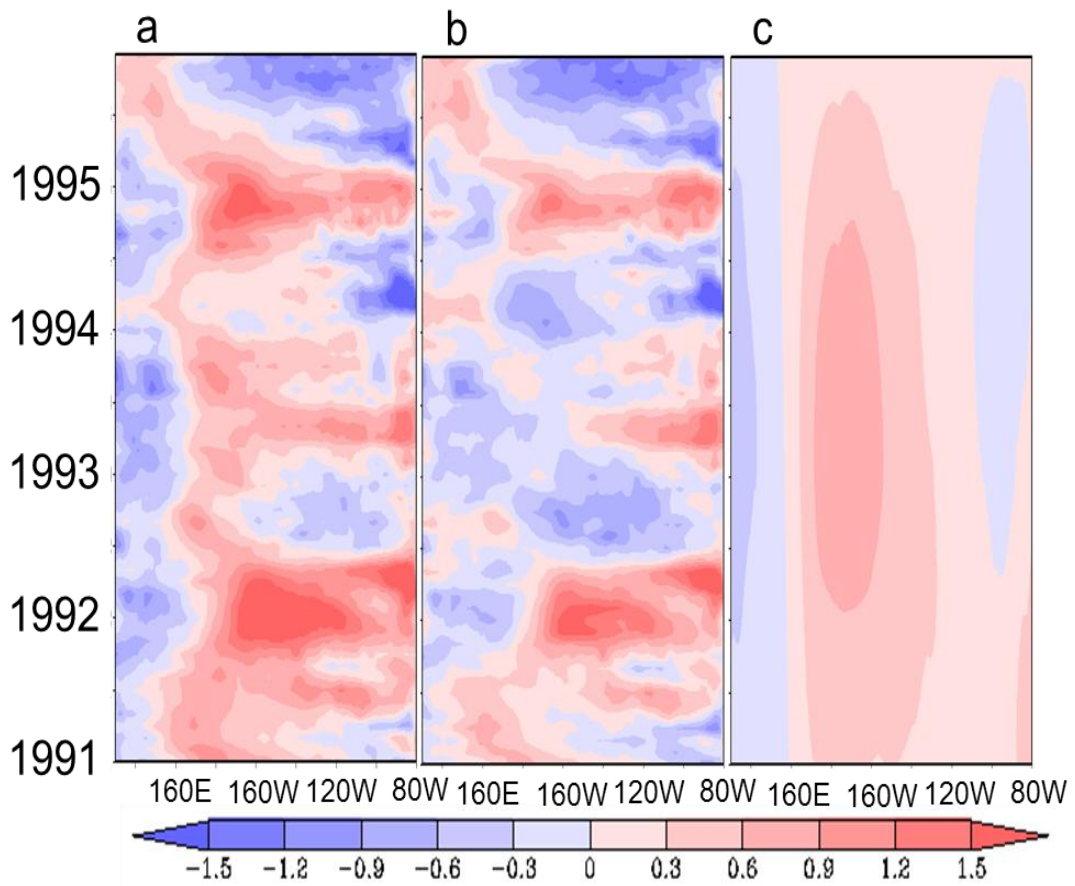


圖 5.19:同圖 5.16 但為 GODAS 資料的海表面異常值溫度之莫哈圖。

a:原始資料，b:八年以下資料，c:a-b。

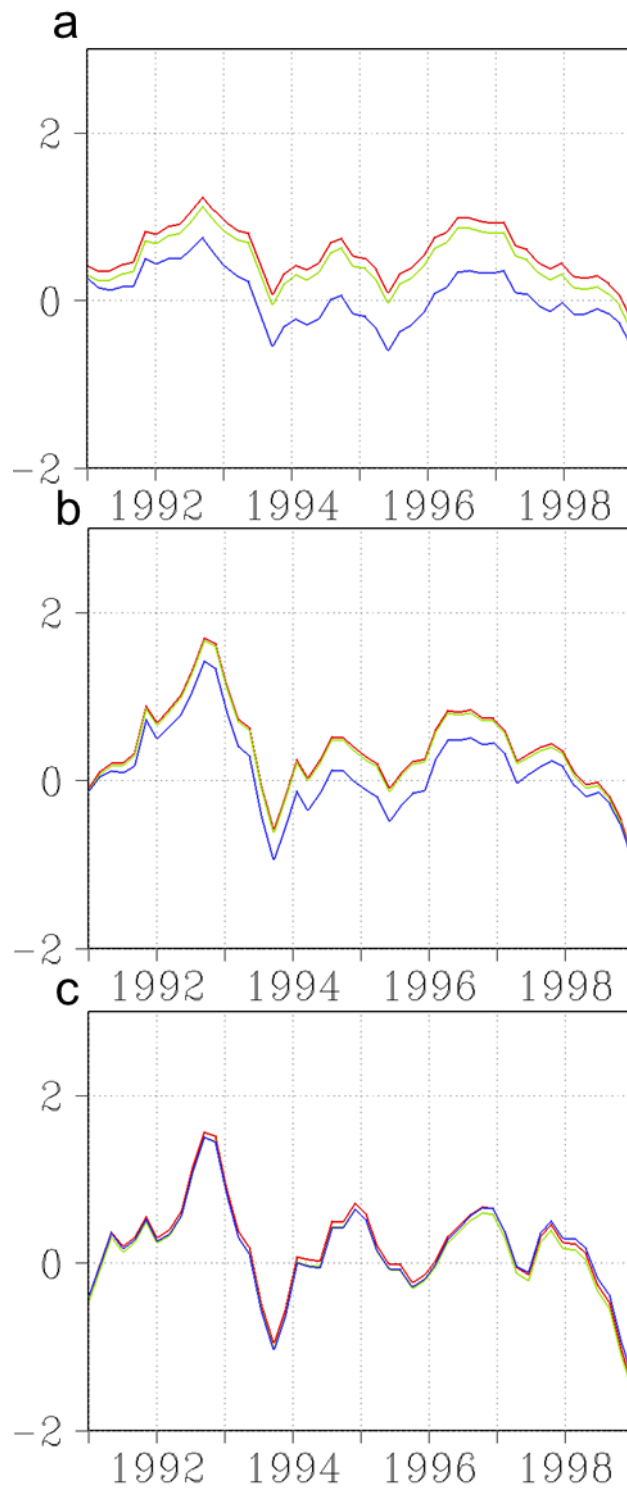


圖 6.1:同圖 4.4 但時間區間為 Jan2002 到 Dec2005。

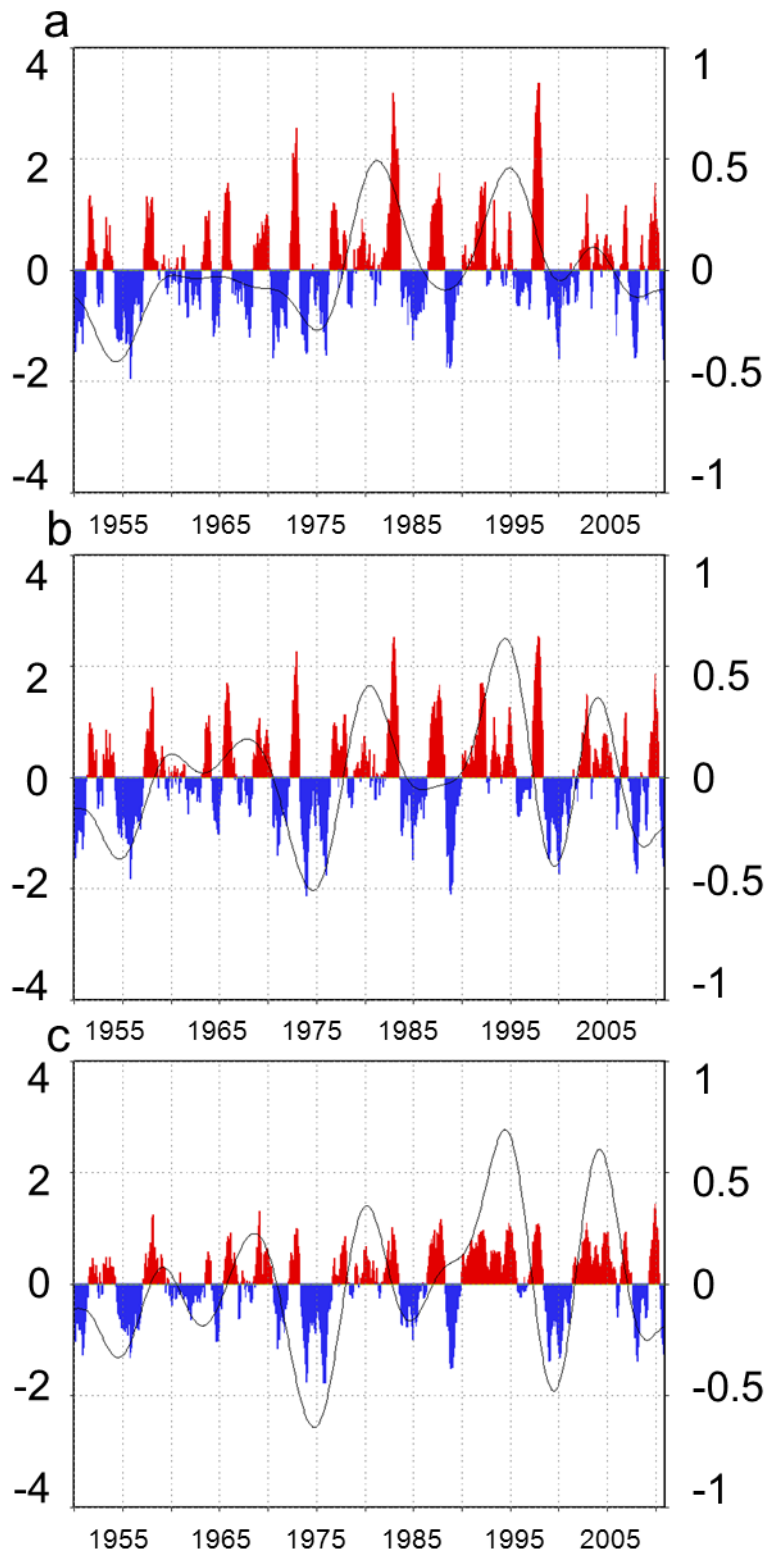


圖 6.2: 時間範圍從 Jan1950 到 Dec2010，黑色:年代際震盪（右邊縱軸），紅色:正相位海溫，藍色:負相位海溫（左邊縱軸），單位 $^{\circ}\text{C}$ 。

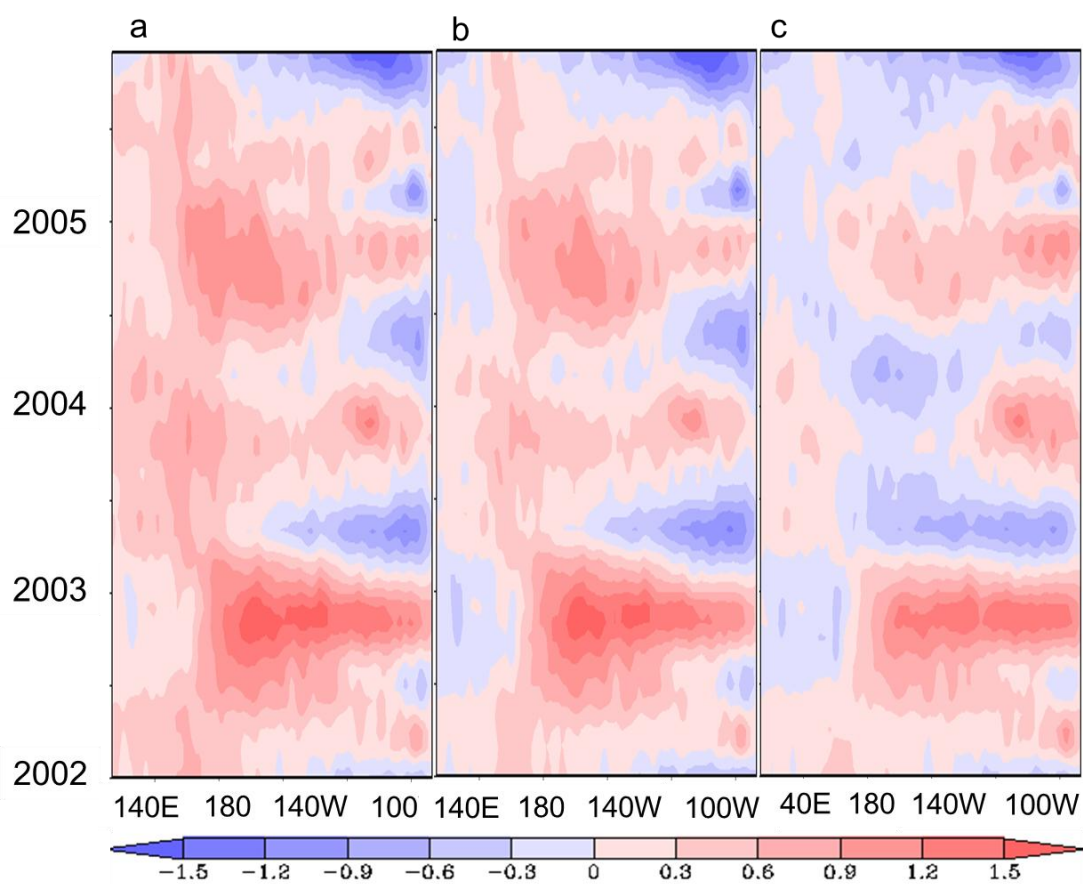


圖 6.3:同 5.1 但時間為 Jan2002 年到 Dec2005 的海表面溫度莫哈圖。

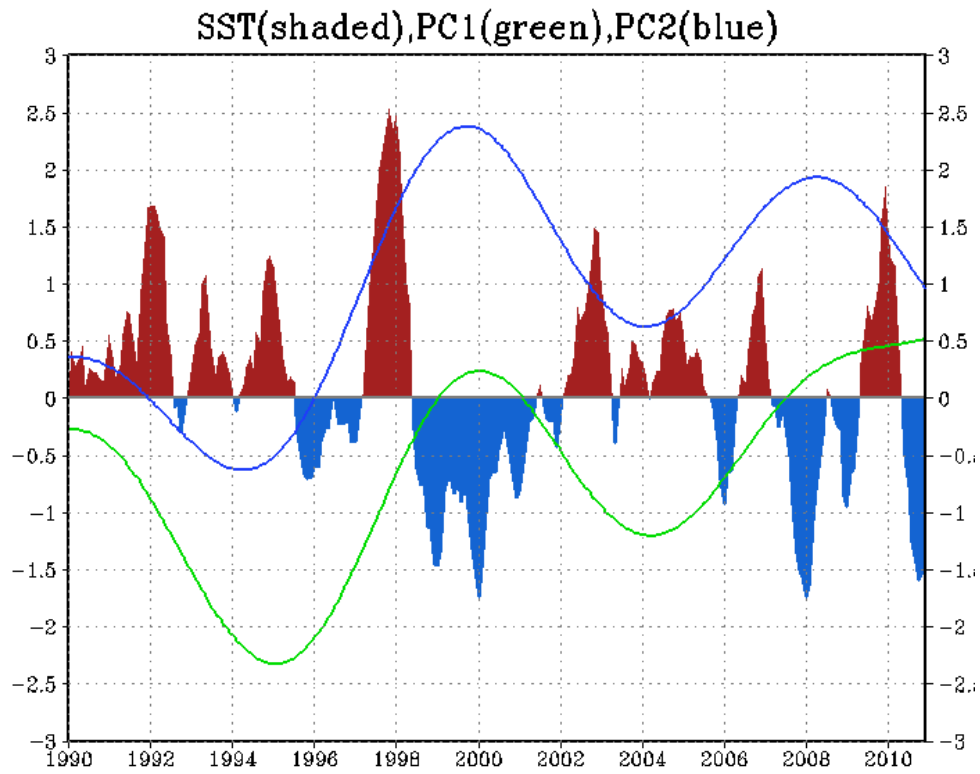


圖 6.4:海表面溫度時間序列圖，陰影是 SSTa，綠色表示 EOF 分析的 PC1 (36.9%)，藍色表示 PC2 (23.3%) 主分量。

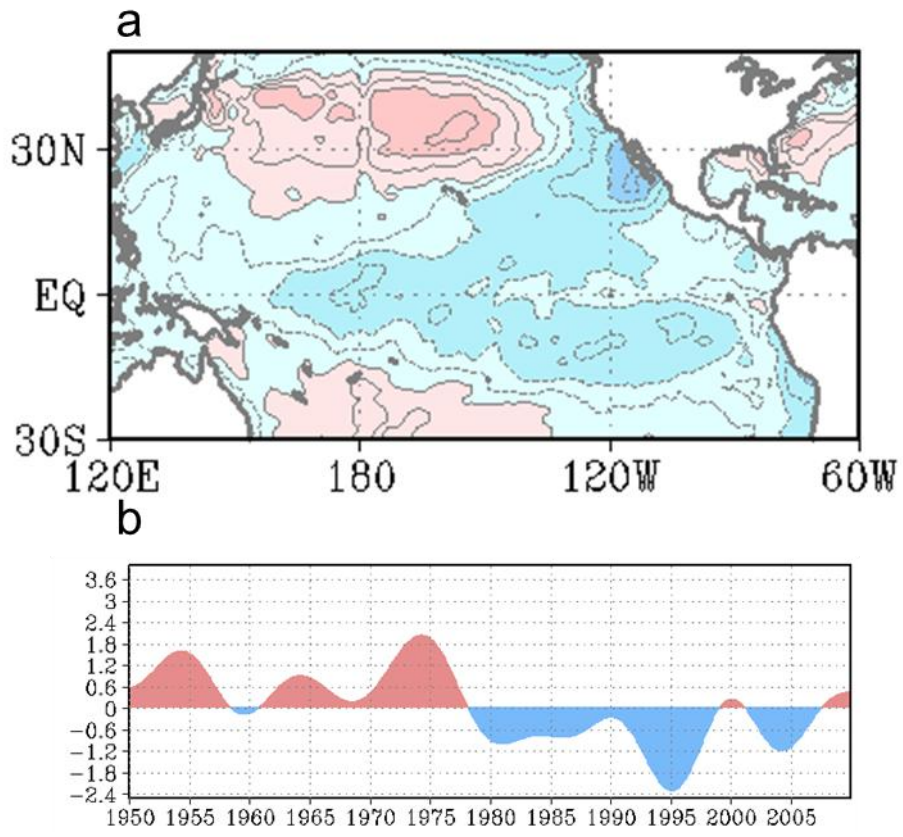


圖 6.5:a:PC1 的模之水平圖 b:為主分量。

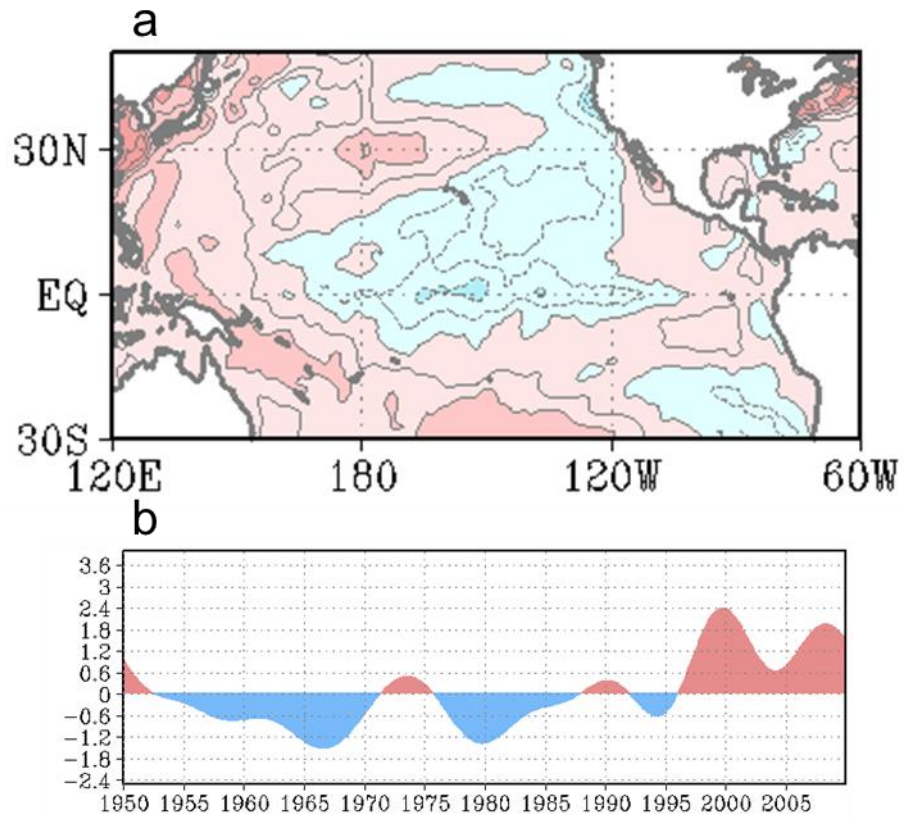


圖 6.6:同圖 6.5 但為 PC2 的模。

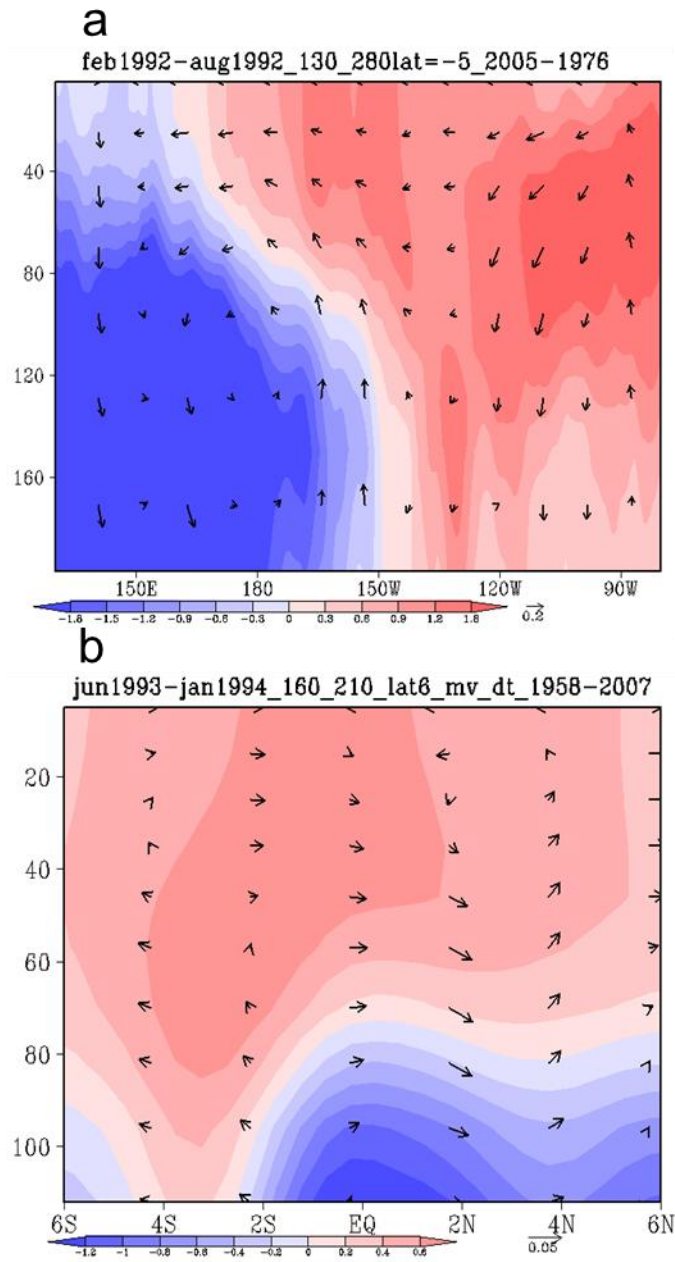


圖 6.7: 同圖 5.15 但時間資料為 Jan1976~Dec2005 氣候值減

Jan1958~Dec1975 氣候值的海流，陰影為原始資料的異常值海溫（等直線間距為 0.2），a 同圖 5.10a~c。b:同圖 5.15。

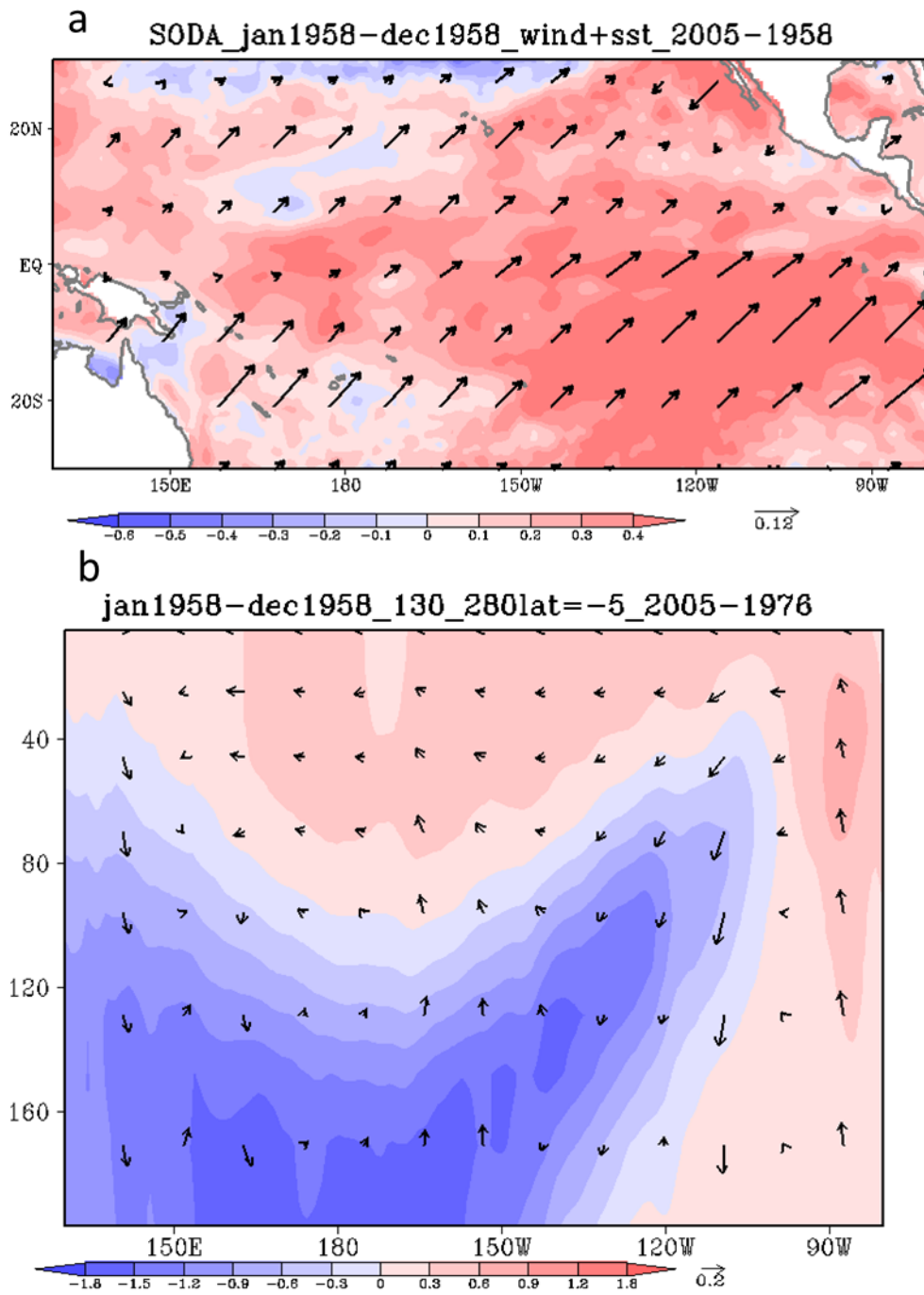


圖 6.8: 同圖 6.7 但時間資料為整年的氣候值相減。a:同圖 4.1, 但加上風切場。b:同圖 6.8a, 但為垂直頗面, 箭頭同圖 5.12。