

## 第一章 緒論

### 1.1 地理位置

#### 1.1.1 太平洋 (Pacific Ocean)

太平洋 (圖 1-1(a)) 是地球上三大洋 (太平洋、大西洋、印度洋) 中最大的洋，南北長約 15900 公里，東西最大寬度約 19900 公里。海岸線總長度為 135663 公里，自西邊的印尼一直延伸到東邊的哥倫比亞、秘魯附近。南北則從北極一直延伸至南極，其西邊分布的陸地為亞洲、大洋洲，東邊則為美洲。太平洋所占面積約 1 億 7000 萬平方公里，覆蓋着地球約 46% 的水面及約 32% 的總面積。太平洋的平均深度約 4280 公尺，最深處位於馬里亞納海溝 (Mariana Through) — 10911 公尺。

#### 1.1.2 太平洋之洋流

赤道把太平洋分成北太平洋以及南太平洋兩部份 (圖 1-1(b))，而在  $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$  之間，由於東北信風的推動，產生一股由東向西的洋流，稱為北赤道洋流 (North Equatorial Current, NEC)。NEC 流至太平洋的西邊界 (菲律賓附近) 時開始分支，往南稱為民答那峨海流 (Mindanao Current)，往北則形成黑潮 (Kuroshio)。黑潮在日本的南邊開始轉向，往東流到太平洋的東邊界 (美國、加拿大附近) 時開始

往南北分支，往北的稱為阿拉斯加洋流（Alaska Current），往南的稱為加利福尼亞洋流（California Current），最後匯入北赤道洋流。此即為北赤道洋流系統。

而在南太平洋，由於東南信風的推動，也產生一股向西的洋流，稱為南赤道洋流（South Equatorial Current, SEC），SEC 流至新幾內亞後轉向南流，稱東澳洋流（East Australian Current）；此洋流流至 45°S 附近轉向往東，一直到太平洋東邊界（智利、秘魯附近）又轉而向北，稱為秘魯洋流（Peru Current），最後向北流至赤道又遞補至南赤道洋流，周而復始。此即為南赤道洋流系統。

### 1.1.3 太平洋赤道地區之洋流

太平洋赤道地區包含 140°E~80°W，20°N~20°S。NEC 橫跨 10~20°N。SEC 分布範圍較廣，自 20°S~6°N，因此也有人把赤道以北的部份稱為「南赤道洋流北支」，赤道以南的部分稱為「南赤道洋流南支」。南、北赤道洋流均為東風所造成的風生環流，自東向西流，在海表面明顯可見，而海水被這兩股洋流自東往西送，在西太平洋堆積，因此造成海平面高度西高東低的現象。

海平面高度的差異造成了東西海表面壓力的不平衡，因此產生一股自西向東傾斜的壓力梯度力。為了釋放這股壓力，在赤道至 10°N

之間就出現了一股由西向東的洋流，由於其流向和北赤道洋流相反，我們稱之為北赤道反流（North Equatorial Countercurrent, NECC），北赤道反流向東流入巴拿馬的海灣當中，且在哥斯大黎加附近轉向，一支往北注入北赤道洋流，一支往南注入南赤道洋流（Lukas, 2001）。

由於自東向西的洋流包括 NEC 和 SEC，自西向東的洋流僅 NECC 並不足以平衡東西壓力梯度的差異。因此，在赤道附近、SEC 的正下方，產生另一股自西向東的洋流，只有少數時間和地點才會浮出水面，此洋流稱為赤道潛流（Equatorial Undercurrent, EUC），其分布範圍在  $3^{\circ}\text{S}\sim 3^{\circ}\text{N}$ 。

## 1.2 文獻探討

### 1.2.1 北赤道洋流（North Equatorial Current, NEC）

Kim 等（2002）自 OGCM（Ocean General Circulation Model）的模式結果觀察指出，NEC 的分支點隨著深度與時間而改變，自海表面至 500m 深處，平均緯度在  $15.5^{\circ}\text{N}$ 。夏季時分支點的緯度最偏北，冬季時最偏南。Wang 等（2009）的研究中，使用 EOF（Empirical Orthogonal Function）研究來自 Aviso 的觀測資料指出，NEC 的分支點位置平均位於  $13.3^{\circ}\text{N}$ ，且 1 月時最偏北，約  $14.0^{\circ}\text{N}$ ；7 月時最偏南，約  $12.5^{\circ}\text{N}$ 。年際變化方面，NEC 的分支點在 El Niño 發生時會往北偏

移，La Niña 發生時則會往南偏移 (Kim et al., 2004; Wang et al., 2009)。

### 1.2.2 北赤道反流 (North Equatorial Countercurrent, NECC)

西太平洋的 NECC 在 12 月水平速度最快，中太平洋則是在 8 月水平速度最快，東太平洋的 NECC 是速度最慢的，自 12 月到隔年 2 月之間幾近消失 (Johnson et al., 2002)。在傳輸量方面，NECC 自西太平洋流至中太平洋時沒有太大的改變，到了東太平洋開始減少 (Johnson et al., 2002)。聖嬰年時，NECC 的位置有南移的現象，傳輸量增加了約 25% (Picaut et al., 1996)；反聖嬰年時，NECC 的位置則往北偏移 (Johnson et al., 2002)。

### 1.2.3 南赤道洋流 (South Equatorial Current, SEC)

SEC 在北半球的夏季、秋季時最強，此時溫躍層在  $3^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{N}$  最明顯；在春季時最弱，此時南北的熱壓力梯度最小，東南信風也跟著減弱 (Philander, 1987)。近期有某些學者把 SEC 分成北邊部分 (SECn)、南邊部分 (SECs) 來討論，由實測資料觀察出，SECn 和 SECs 均在中太平洋最強，西太平洋次之，東太平洋最弱。季節變化方面，SECn 和 NECC 相似。SECn 於東太平洋在 8~10 月最強，中、西太平洋在 12 月最強；SECs 則有些不同，於東太平洋在 12 月最強，

西太平洋在 2~4 月最強 (Johnson et al., 2002)。年際變化方面，聖嬰年發生時，SECn 和 SECs 都會減弱，反聖嬰年時則會增強 (Johnson et al., 2002)。

#### 1.2.4 赤道潛流 (Equatorial Undercurrent, EUC)

研究顯示 EUC 自西向東，流速越來越快，至 140°W 達到最大值，約 90~105cm/s，自此以東開始減慢 (Yu and McPhaden, 1999a; Yu and McPhaden, 1999b)，且越往東流，EUC 的深度位置越來越淺 (Johnson et al., 2002)。以季節變化來看，一年四季中，4~6 月速度最快，1~3 月次之 (Johnson et al., 2002)。年際變化方面，早期學者發現 EUC 在聖嬰年會減弱，且深度位置有淺化的跡象，甚至在 1982~1983 年的強聖嬰年，EUC 向東流至 159°W 即消失不見，這被認為和西太平洋的西風爆發有關 (Firing et al., 1983)。

近期研究顯示 EUC 流至赤道 97°W 附近的加拉帕哥群島 (Galapagos Islands) 西岸時，有湧升的現象，此湧升流成為當地冷水團的主要來源 (Eden and Timmermann, 2004)。但 Wyrтки (1966) 研究指出，EUC 在加拉帕哥群島附近，有一半海水湧升，另一半的海水則是往南匯入了 SEC。

### 1.3 研究目的

本論文主要目的為研究太平洋赤道地區（ $140^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{W}$ ， $20^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ）主要洋流的流況，以及其在正常年與聖嬰年、反聖嬰年之間的不同。除了年際變化以外，也探討冬季與夏季太平洋流況之異同。本文將使用從 1988 年到 2007 年模式輸出的流速資料，歸類出正常年夏季、正常年冬季、聖嬰年夏季、聖嬰年冬季、反聖嬰年夏季及反聖嬰年冬季等六種型態，利用流速以及傳輸量變化，探究太平洋赤道地區主要洋流之間遞補情況的年際變化。

本論文的架構大致如下：第一章為地理環境介紹與文獻探討；為第二章將針對三個模式作驗證比較，找出和實測資料最接近的模式進行研究；第三章使用前述最佳的模式結果，利用速度場與傳輸量的變化，解釋並分析赤道太平洋流況的年際變化；第四章則為結論及未來方向。

## 第二章 研究工具及方法

### 2.1 模式介紹

觀測資料雖然最可信，但是完整性卻不高，很難滿足人們想要研究某一年份的特定需求。故研究需要模式的幫助，且經驗證比較之後，最接近觀測資料的數值模式，其結果才最值得信賴。以下是三個模式的基本資料。

#### 2.1.1 GODAS

GODAS (Global Ocean Data Assimilation System) 為一個全球模式，緯度範圍自 75°S~65°N。除了在 10°N~10°S 之間解析度增加為  $1^\circ \times \frac{1}{3}^\circ$ ，其他區域解析度皆為  $1^\circ \times 1^\circ$ 。其垂直方向有 40 層 (z-level)，在 200m 深處以內的解析度比較高 (Behringere, 2007)。

#### 2.1.2 SODA POP v1.4.2

SODA (Simple Ocean Data Assimilation) 全球模式以 Parallel Ocean Program (POP) 模式為基礎，使用從 1958~2001 年的 ECWMF (European Centre for Medium Range Forecasts) 風場。其水平解析度為  $0.2^\circ \times 0.4^\circ$ ，垂直方向有 40 層 (z-level) (Carton et al., 2008)。

### 2.1.3 OFES

OFES (Ocean General Circulation Model for the Earth Simulator) 為一個緯度範圍涵蓋  $75^{\circ}\text{S}\sim 75^{\circ}\text{N}$  的全球模式，水平解析度為  $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$ ，垂直方向有 54 層 (z-level) (Masumoto et al., 2004)。

## 2.2 模式驗證

### 2.2.1 流速距平值之比較

太平洋有許多洋流，綜合比較有些複雜，故我們先選擇觀察 EUC。Keenlyside and Kleeman(2002)研究中用 TOGA (Tropical Ocean Global Atmosphere) 的 TAO (Tropical Atmosphere- Ocean Array) 資料觀察 EUC 在西太平洋、中太平洋與東太平洋赤道附近的流況。

圖 2-1 為實測資料和三個模式在  $165^{\circ}\text{E}$  的比較圖。圖 2-1(a)為 EUC 東西向流速距平值的季節變化圖 (Keenlyside and Kleeman, 2002)。圖 2-1(b)~(d)分別為 GODAS、SODA POP v1.4.2、OFES 的模式結果。圖中可見，GODAS 的型態和實測資料非常相近，且正距平最大值同樣是  $0.2\text{m/s}$ ；SODA POP v1.4.2 的型態也和實測資料差不多，但是正距平最大值只有  $0.1\text{m/s}$ ；OFES 的深度明顯不夠。

自  $140^{\circ}\text{W}$  的實測資料與模式結果比較圖(圖 2-2)中可見，GODAS (圖 2-2(b)) 與 SODA POP v1.4.2 (圖 2-2(c)) 的模式結果和實測資



料（圖 2-2(a)）非常相近，而 OFES 的軸心位置有些過淺且過小（圖 2-2(d)），不盡理想。

以 110°W 的模式結果來看，GODAS（圖 2-3(b)）的模式結果與實測資料（2-3(a)）最相近。SODA POP v1.4.2（圖 2-3(c)）和 OFES（圖 2-3(d)）的正距平值都太大，趨勢和實測資料（圖 2-3(a)）不大相符。

由圖 2-1~2-3 中發現，EUC 在 5、6 月份最強，其軸心在 165°E 約為 200 公尺深，在 140°W 約為 120 公尺深，在 110°W 約為 80 公尺深。可見 GODAS 和 POP v1.4.2 模式的結果似乎和實測資料較為接近。

圖 2-4~2-6 為 EUC 實測資料與模式在西太平洋、中太平洋以及東太平洋的軸心流速距平值之季節變化圖。圖 2-4~2-6(a)(c)(e) 分別是實測資料(Keenlyside and Kleeman, 2002)中 165°E 200 公尺深處、140°W 的 120 公尺深處，以及 110°W 的 80 公尺深處。從圖 2-4~2-6(a)(c)(e) 可看出 EUC 在西太平洋、中太平洋及東太平洋，春季 4~6 月的東西向流速都是最快的。

由 GODAS、SODA POP v1.4.2、OFES 的模式結果和實測資料(Keenlyside and Kleeman, 2002) 發現，GODAS（圖 2-4(b)(d)(f)）的季節變化和實測資料非常相近，除了 110°W（圖 2-4(f)）年尾出現少許的負距平值以外，整體趨勢和實測資料大致相同。

SODA POP v1.4.2 (圖 2-5(b)(d)(f)) 和實測資料也非常相近，但是 110°W (圖 2-5(f)) 的春季，模式結果與實測資料相較，正距平值超過 0.2m/s，差異稍大。

OFES 的模式結果 (圖 2-6(b)(d)(f)) 尚可，但是實測資料中 140°W (圖 2-6(c)) 中的 9~11 月是正距平值，OFES 模式結果 (圖 2-6(d)) 卻是微弱的負距平值，且模式結果中 110°W (圖 2-6(f)) 中 4~6 月的正距平值也太顯得太大，比實測資料高出 0.1m/s。

### 2.2.2 流速之比較

圖 2-7 為 EUC 在 0°E 東西向流速之實測資料 (Yu and McPhaden, 1999a) 與模式結果的比較圖，2-7(b)~(d)分別為 GODAS、SODA POP v1.4.2、OFES。

自圖 2-7(a)可見，實測資料中 EUC 在 165°E 的軸心位於 200m 深處，約 0.45~0.6m/s；140°W 的軸心在 120m 深處，約 0.9~1.05m/s；110°W 的軸心在 80m 深處，大約 0.75~0.9m/s (Yu and McPhaden, 1999a)。

GODAS 模式的整體型態和實測資料類似 (圖 2-7(b))。EUC 在 165°E 的軸心位於 160~200m 深處，約 0.45~0.6m/s；140°W 的軸心在 120m 深處，約 0.9~1.05m/s；110°W 的軸心則在 80m 深處，

0.75~0.9m/s。因此強度大小也和實測資料差不多。

從圖 2-7(c)可見，SODA POP v1.4.2 模式的整體型態和實測資料很相近。EUC 在 165°E 的軸心位於 140~240m 深處，約 0.3~0.45m/s；140°W 的軸心在 120m 深處，約 1.05~1.2m/s；110°W 的軸心則在 80m 深處，約 0.9~1.05m/s。以強度大小來看，SODA POP v1.4.2 在 165°E 的流速比實測資料小了 0.15m/s，在 140°W 和 110°W 的流速則比實測資料大了 0.15m/s。

OFES 只有提供深度 200m 以上的資料（圖 2-7(d)），其趨勢和實測資料並不相同。165°E 的軸心位於 200m 深處，約 0.3~0.45m/s；140°W 的軸心位於 120m 深處，約 0.75~0.9m/s；110°W 的軸心則在 80m 深處，約 0.3~0.45m/s。由此可見，OFES 模式的流速都比實測資料小，尤其在 110°W 更小了 0.45m/s，差異甚大。

從以上各種和實測資料的比較及分析結果看來，以 GODAS 的模式結果和實測資料最為相近。為了做進一步驗證。圖 2-8 為 Knauss (1966) 以實測資料所做的研究與 GODAS 結果的比較。圖 2-8(a)為 EUC 位於 140°W、118°W、96°W、93.4°W、92.27°W 以及 87°W 的水平流速曲線圖。EUC 在以上位置的流速大小和軸心深度大致如下：140°W 的流速為 1.05m/s，深度 120m；118°W 的流速為 1.1m/s，深度 70m；96°W 的流速為 0.85m/s，深度 65m；93.4°W 的流速為 0.7m/s，

深度 60m；92.27°W 的流速為 0.15m/s，深度 105m；87°W 的流速為 0.2m/s，深度 200m。

由 GODAS 的模式結果（圖 2-8(b)）中可見，EUC 在以上位置的流速大小和軸心深度大致如下：140°W 的流速為 0.9~1m/s，深度 120m；118°W 的流速為 0.8~0.9m/s，深度 100m；96°W 的流速為 0.4~0.5m/s，93.4°W 的流速為 0.3~0.4m/s，深度 90m；92.27°W 的流速為 0.2~0.3m/s，深度 80m；87°W 的流速為 0.1~0.2m/s，深度 200~220m。

與實測資料比對，GODAS 的模式結果除了在 96°W 的流速大小有些許差距之外，大部分都吻合，再次證明 GODAS 的模式結果是相當有可信度的。

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 正常年、聖嬰年及反聖嬰年之分類方法

為了觀察赤道太平洋流況的年際變化，本論文根據 1988 年到 2007 年的資料，分為正常年、聖嬰年以及反聖嬰年三大類。學者研究指出，聖嬰現象在北半球冬天最強，至隔年夏天漸弱（Lau et al., 2005）。Fu and Wang（2004）以及 Conil et al.（2009）在關於聖嬰現象的研究中，把北半球夏天定義為 6~9 月，而 Lau et al.（2005）將北半球夏天

定義為 7~8 月；Calvo 等（2007）將北半球冬天約略定義為 11 月至隔年 2 月，Lau 等（2005）定義為 12 月至 2 月。

參考來自 NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration）的 CPC（Climate Prediction Center）所定義的 ONI（Oceanic Nino Index），它是以 Nino 3.4（5°N~5°S, 120°W~170°W）的海溫距平值為準，若大於或等於 0.5°C 則定義為聖嬰年；小於或等於 0.5°C 則定義為反聖嬰年；除此之外均歸類為正常年。

參考前人的研究，大部分學者所觀察的夏季均在 6~9 月之間，冬季則在 11~2 月之間；我們為了觀察聖嬰年與反聖嬰年冬夏兩季最典型的流況，需要著眼於當年溫度距平值最大的月份，且以此規則所定出同一類的年份最具有的一致性。因此定義為 12 月為冬季，8 月為夏季。依照這三種年份、兩個月份，可以歸納出以下 6 大類：（見表 2-1）。將同一類的所有資料平均，最後即可得到代表正常年夏季、正常年冬季、聖嬰年夏季、聖嬰年冬季、反聖嬰年夏季及反聖嬰年冬季等 6 筆資料。

### 2.3.2 計算傳輸量之方式

接下來針對太平洋的 140°E~90°W，每隔經度 10°，共 14 個經度剖面，計算速度以及傳輸量，以便觀察太平洋洋流在不同時間、不同

地點的流況變化。以正常年夏季  $140^{\circ}\text{W}$  為例，圖 2-9 為 GODAS 模式在  $140^{\circ}\text{W}$  的東西向流速剖面圖。以 EUC 為例：它的位置約在  $3^{\circ}\text{S}\sim 2^{\circ}\text{S}$ ，自海平面往下 30 到 290 公尺深處，故可得寬度為 5 個經度（約 5500 公里），深度為 260 公尺，因此面積大約是  $1.43 \times 10^9$  平方公尺。計算出 EUC 在此區域的平均速度後，即可得到 EUC 在  $140^{\circ}\text{W}$  的傳輸量（單位： $\text{Sv}$  ( $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ))。

用這樣的方法，在每個經度都可以算出由西向東流的 EUC、NECC 以及由東向西流的 NEC、SECn、SECs 的傳輸量。但是傳輸量增加不代表一定有其他洋流流入，可能是速度改變的緣故，因此需要搭配平均流速，才能看出整個洋流系統的流況。

接著可以推估 6 筆資料（正常年夏季、正常年冬季、聖嬰年夏季、聖嬰年冬季、反聖嬰年夏季、反聖嬰年冬季）中 5 個洋流（EUC、NECC、NEC、SECn、SECs）自  $140^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$  的洋流出入狀況。

### 第三章 模式結果與討論

#### 3.1 太平洋赤道地區洋流之流況

##### 3.1.1 正常年夏季




圖 3-1 為正常年夏季太平洋赤道地區五個洋流的流速圖。NEC 自東向西流，自  $90^{\circ}\text{W}\sim 100^{\circ}\text{W}$  不僅速度增快（圖 3-1），傳輸量也增加（表 3-1），從太平洋夏季 50m 深處的流況圖可見（圖 3-2(a)）， $90^{\circ}\text{W}\sim 100^{\circ}\text{W}$  恰為 NECC 自西向東流至太平洋東邊界時，往北匯入 NEC 的地方。NEC 流至  $110^{\circ}\text{W}$  左右，有往回流並匯入 NECC 的趨勢，因此  $90^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  之間出現一個環流。這個環流的位置接近哥斯大黎加（Costa Rica），故稱為 Costa Rica Dome（Kessler, 2006）。至  $120^{\circ}\text{W}$ ，北邊開始有其他洋流往南匯入 NEC。故 NEC 在  $110^{\circ}\text{W}\sim 120^{\circ}\text{W}$  有一個中斷的缺口。自此以西，由於南邊的 NECC 以及北邊的其他洋流不斷匯入 NEC，使得 NEC 流速越來越快，直到太平洋的西邊界。這個現象與 Kessler（2006）的研究相符合。

NECC 從太平洋西邊界的  $3^{\circ}\text{N}\sim 7^{\circ}\text{N}$  流出時，和 EUC 連在一起，流向幾乎和赤道平行。至  $170^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  時傳輸量有減少的現象（表 3-1），但 EUC 的傳輸量增加。自剖面圖（圖 3-3(a)~(b)）中可見，EUC 往上移動，而 NECC 往下移動，兩者的軸心位置距離拉近，且 NECC 的軸心至  $180^{\circ}\text{E}$  變弱許多，顯示 NECC 的部份水量沉降並匯入

了 EUC。NECC 流至  $180^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$  與 SECn 相遇後北移，與 EUC 的距離開始拉遠，各自的流速也越來越強。NECC 流至  $100^{\circ}\text{W}\sim 120^{\circ}\text{W}$  後恰逢北邊的洋流南下，流速明顯銳減，至東邊界附近才有回升趨勢（圖 3-1）。

SECn 和 NECC、EUC 的緯度位置很接近，深度也差不多，因此有相互影響的現象。SECn 在  $90^{\circ}\text{W}\sim 100^{\circ}\text{W}$  之間流速最強（圖 3-1），推測應和北邊 NECC 往南匯入有關（圖 3-2(a)）。接著流至  $130^{\circ}\text{W}$ ，SECn 有匯入南邊 EUC 的跡象（圖 3-2(b)），流速也突然減弱（圖 3-1）。直到  $170^{\circ}\text{W}$  遇上 NECC 與 EUC，NECC 與 EUC 自此分離並包夾 SECn，使得 SECn 幾乎消失了。

EUC 在正常年夏季的平均傳輸量是  $39.2\text{Sv}$ （表 3-2），這和 Knauss（1960）的估計傳輸量值  $39\text{Sv}$  幾乎相等，再次證明 GODAS 的可信度極高。EUC 自西邊界流出時和 NECC 是連在一起的，至  $170^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  時由於 NECC 沉降匯入，故 EUC 的傳輸量減少。到了  $160^{\circ}\text{W}\sim 170^{\circ}\text{W}$  附近，EUC 在 250m 深處有往北流的跡象，此處 NECC 的深度只在 150m 以內，因此 EUC 北流之後於  $140^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  匯入了 NEC（圖 3-2(b)）。故 EUC 的傳輸量大減（表 3-1）。自  $130^{\circ}\text{W}$  起 EUC 的速度開始減慢（圖 3-1），但因為緊鄰的 SECn 與 SECs 持續有水流匯入，故傳輸量尚保持穩定（圖 3-2(a)）。



和其他洋流比起來，SECs 的流況較為穩定。首先自太平洋東邊界附近流出時，SECs 接收來自北邊 NEC、EUC、SECn 以及來自南邊洋流的匯入，所以傳輸量增加（表 3-1）。至 180°E 處 SECs 往北移動了 1~2°（圖 3-2(a)），且一部份在索羅門群島（Solomon Islands）附近往西南流，故傳輸量大減，流至 150°E 太平洋西邊界附近，匯集了北上和南下的其他洋流，故傳輸量又大增（表 3-1）。接著 SECs 有一部分沿著邊界往北流，另一部份沿著邊界南下（圖 3-2(a)），故至 140°E 傳輸量又大減（表 3-1）。

### 3.1.2 正常年冬季

圖 3-4 為正常年冬季太平洋赤道地區五個洋流的流速圖，相較於夏季，冬季時 NEC 的流速趨勢較為穩定，沒有太大的起伏。圖 3-5 則是流況向量圖。觀察正常年冬季 50m 深處的流況（圖 3-5(a)）可知，NEC 的上游在 90°W 附近有 NECC 往北匯入。NEC 流至 100°W~120°W 並未往回流入 NECC，加上北邊的洋流南下匯入 NEC，使得 NEC 傳輸量增加（圖 3-5(a)）。值得注意的是，NEC 的流速在 150°W 突然減慢，但是傳輸量卻有增加的趨勢。自圖 3-5(c)200m 深處的流況可見，NEC 在 160°W~180°W 有 NECC 往北匯入，因此傳輸量增加。接著越往西流，NEC 有向南偏移的趨勢，流至西邊界大約可達 10°N 左

右。

NECC 自太平洋西邊界流出時，和 EUC 是連在一起的。圖 3-5(c) 可見，NECC 流至  $180^{\circ}\text{E}$  在 200m 深處有分支的現象，一部分往北匯入 NEC，另一部份則南移匯入 EUC。因此 NECC 的傳輸量大減（表 3-3）。NECC 在  $140^{\circ}\text{W}$  附近有 NEC 往南匯入（圖 3-5(a)），因此傳輸量有回升的趨勢。總結來看，NEC 在正常年冬季的深度比起夏季來得深，且 NEC、EUC 及 NECC 在 200m 深處水量出入的現象相當頻繁。

SECn 自太平洋東邊界流出時有 NECC 往南匯入，故傳輸量增加（表 3-3），其流速在  $100^{\circ}\text{W}$  附近是最快的（圖 3-4）。自 100m 深處的流況圖可見，SECn 在  $110^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  有匯入 EUC 的現象（圖 3-5(b)）。流至  $160^{\circ}\text{W}$ ，SECn 在 50m 深處又大量往北匯入 NECC，因此傳輸量一路銳減（圖 3-5(a)）。SECn 流至  $170^{\circ}\text{W}$  消失了，但  $180^{\circ}\text{E}$  又再度出現。由此可見，SECn 在 50m 以內有匯入 NECC 的傾向，100m 以下則大量匯入 EUC。因此越往西流，SEC 越弱（圖 3-4）。

EUC 自西向東流至  $180^{\circ}\text{E}$  附近，由於北邊的 NECC 往南匯入，EUC 的傳輸量增加。接著一路流到  $130^{\circ}\text{W}$  有 SECn 往北匯入，EUC 的傳輸量持續提升。至  $120^{\circ}\text{W}$  以東，EUC 開始往南匯入 SECs，傳輸量大減（圖 3-5(a)），由於 SECn 在東邊界附近較強，EUC 似乎被 SECn

擋住而沒有往北分流的空間（圖 3-5(a)）。

SECs 在正常年冬季的流速趨勢和夏季差不多，傳輸量也很穩定，可見 SECs 與太平洋其他主要洋流之間，似乎沒有太多的互動。SECs 在  $90^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  處有 EUC 及 SECn 往南匯入，故傳輸量增加（表 3-3）。SECs 流至  $140^{\circ}\text{W}$  附近時，由於南邊的洋流往北匯入，因此 SECs 的傳輸量大增（表 3-3）。此洋流的匯入，也將 SECs 分成兩部份，北邊部分在  $0\sim 5^{\circ}\text{S}$ ，南邊部分在  $12^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{S}$ （圖 3-5(a)）。

SECs 流至  $150^{\circ}\text{E}$  西邊界附近，傳輸量大增。值得注意的是，正常年夏季 SECs 在  $150^{\circ}\text{E}$  的傳輸量高達  $62\text{Sv}$ ，冬季時傳輸量卻只有  $45\text{Sv}$ ，和夏季比較起來減少了四分之一。但是 SECs 自  $150^{\circ}\text{E}$  流至  $140^{\circ}\text{E}$  所減少的傳輸量卻與夏季差不多，都是  $30\text{Sv}$ （表 3-3）。由此可見，冬季時彙集於  $150^{\circ}\text{E}$  之處的洋流，比起夏季來得少很多。

### 3.1.3 聖嬰年夏季

圖 3-6 為聖嬰年夏季太平洋赤道地區五個洋流的流速圖，整體而言，NEC 的流速趨勢和正常年夏季非常相近。圖 3-7 則是流況向量圖。圖 3-7(a)可見，NEC 在  $80^{\circ}\text{W}$  附近有 NECC 往北匯入，至  $100^{\circ}\text{W}\sim 120^{\circ}\text{W}$  時有少部份流回 NECC，因此 NEC 在  $80^{\circ}\text{W}\sim 100^{\circ}\text{W}$  產生一個環流，但並未像正常年夏季一般有明顯的缺口。自圖

3-7(b)200m 深處的流況可見，NEC 自  $140^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  有 EUC 往北匯入，因此傳輸量大增。NEC 與 EUC 在  $160^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  深處也有水量交換的情形（圖 3-7(b)）。

NECC 自  $140^{\circ}\text{E}$  起就和 EUC 合併（圖 3-7(a)）。從流速變化圖中明顯可見（圖 3-6），至  $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  處，NECC 在聖嬰年夏季的流速比起正常年夏季（圖 3-1）快了許多，增加了約  $0.15\text{m/s}$ 。直到  $160^{\circ}\text{W}$  和 SECn 相遇以後，NECC 才和 EUC 分開並往北移動（圖 3-7(a)），接著 NECC 流至  $110^{\circ}\text{W}$  有些微南移的趨勢，一部份流入北邊的 NEC，另一部份流入南邊的 SECn，故此處 NECC 的傳輸量大減（圖 3-7(a)）。

SECn 在  $90^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  由於北邊的 NECC 匯入（圖 3-7(c)），使得傳輸量增加。接著自  $110^{\circ}\text{W}$  的剖面圖（圖 3-8(a)）中可見，SECn 位於淺層且和 SECs 相連，越向西流，SECn 的位置越來越深且和 SECs 距離越來越遠（圖 3-8(b)~(f)）。相反的，夾在 SECn 與 SECs 中間的 EUC，則有越向東漸漸淺化的趨勢。換句話說，EUC 自西向東流越來越往深處鑽，也把 SECn 和 SECs 擠到淺層去。由於 SECn 和 EUC 位置很接近，當 SECn 流速減慢的同時，EUC 的速度也減慢（圖 3-6）。最後 SECn 流至  $150^{\circ}\text{W}$  完全消失（圖 3-7(a)）。相較於正常年夏季，SECn 在聖嬰年夏季消失的地點更偏東邊。

EUC 流至  $160^{\circ}\text{W}\sim 170^{\circ}\text{W}$  時，有一部份沿著西邊界往南流，所以

傳輸量減少（圖 3-7(a)）。至  $170^{\circ}\text{W}\sim 180^{\circ}\text{W}$ ，EUC 往北流入位於  $8^{\circ}\text{N}$  的 NECC，傳輸量減少。接著 EUC 在  $160^{\circ}\text{W}\sim 170^{\circ}\text{W}$  傳輸量增加，而 NECC 恰好也有傳輸量減少的現象（表 3-4）。由此推測，NECC 應有沉降匯入 EUC 的現象。自 100m 深處的流況可見，EUC 自  $150^{\circ}\text{W}$  和 NECC 分開以後，在 SECs 與 SECn 的包夾之下，流幅越來越窄（圖 3-7(c)）。

SECs 在聖嬰年夏季的流速趨勢和正常年差不多（圖 3-1，3-6），但傳輸量比正常年來得少（表 3-1，3-4）。從 50m 深處流況可見（圖 3-7(a)），SECs 自太平洋東邊界流出時，由於南邊 EUC 和北邊 SECn 均往北匯入，故 SECs 在  $90^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  的傳輸量增加（圖 3-7(a)）。SECs 在  $120^{\circ}\text{W}\sim 140^{\circ}\text{W}$  有向北匯入 EUC 的傾向（圖 3-7(a)），故傳輸量減少，這也是 EUC 流至  $120^{\circ}\text{W}$  以東開始傳輸量增加的原因之一（表 3-4）。

#### 3.1.4 聖嬰年冬季

圖 3-9 為聖嬰年冬季太平洋赤道地區五個洋流的流速圖，可見聖嬰年冬季 NEC 在  $90^{\circ}\text{W}$  的流速特別強。圖 3-10 則是流況向量圖，NECC 在  $90^{\circ}\text{W}$  處分流，小部份往南流入 SECn，大部份往北流入 NEC（圖 3-10(a)）。NEC 並未在  $110^{\circ}\text{W}$  流回 NECC，而是北移並繼續向西流。

途中傳輸量不斷增加(表 3-5)，自 75m 深處流況可見，NEC 自 120°W 起有北邊的洋流大量匯入，因此傳輸量明顯增加(圖 3-10(b))。圖 3-10(c)200m 深處的流況可見，NEC 在 160°W 附近有 NECC 往北匯入，因此傳輸量大增。

NECC 向東流至 170°E 開始分支，一部份在 2~3°N 與 EUC 合併，另一部分則北移並匯入 NEC(圖 3-10(c))。且 150°E~160°E 的剖面圖中可見，NECC 的深度在正常年冬季不超過 200m，但聖嬰年冬季時卻延伸至 300m 以下(圖 3-11(a)~(b))，流域分布也由正常年的 4°N~9°N，擴展到 2°S~8°N(圖 3-10(a))。NECC 的流域往南擴充，且深度增加，使得 EUC 被壓到 100m 以下(圖 3-11(a)~(d))。NECC 自 160°W 起有 SECn 往北匯入，傳輸量不斷增加(圖 3-10(a))。

SECn 自 90°W~110°W 有 NECC 往北匯入，故傳輸量增加(圖 3-10(a))。SECn 流至 130°E~150°W 後，有部分流入 NECC，另一部份在海表面跨越 EUC 的正上方，直接匯入南邊的 SECs(圖 3-10(a))。同時 SECn 在 100m 深處也有匯入 EUC 的現象(圖 3-10(b))，因此流速變慢，傳輸量大減(表 3-5，圖 3-9)。流至 160°W，SECn 非常微弱幾乎消失。位於南邊的 SECs 自 170°W 往北流，與 SECn 合為一體，使得 SECn 的傳輸量有回升的跡象。接著 SECn 流至 170°E 遇上 NECC 即消失不見(圖 3-10(a))。

EUC 自西邊界流出時，和 NECC 是連在一起的。自  $150^{\circ}\text{E}$  的剖面圖可見，EUC 和 NECC 的結構出現了兩個軸心，一個軸心在  $0^{\circ}\text{E}$ 、50m 深處，另一個軸心和正常年的 NECC 相同，位於  $5^{\circ}\text{N}$ 、100m 深處（圖 3-11(a)）。自  $150^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  可見，NECC 位於  $0^{\circ}\text{E}$  的軸心漸漸變弱而消失，相反的，位於其正下方的 EUC 越來越強，流幅也越來越寬（圖 3-11(a)~(d)）。由此推測，NECC 有沉降流入 EUC 的跡象，故傳輸量大減（表 3-5）。

接著流至  $140\sim 160^{\circ}\text{W}$ ，EUC 在 200m 深處有分支的現象（圖 3-10(c)），因此傳輸量持續下降（表 3-5）。自  $130\sim 160^{\circ}\text{W}$  的剖面圖中也可見，當 EUC 的軸心變小時，南太平洋就出現好幾道分流，當分流合而為一時，EUC 的軸心又再度變大（圖 3-11(e)~(h)）。

SECs 自東邊界流出時傳輸量極小，自  $110^{\circ}\text{W}$  以西才開始較為顯著（圖 3-10(a)）。SECs 流至  $120^{\circ}\text{W}$ ，南邊的洋流往北匯入（圖 3-12(c)）。SECs 在  $170^{\circ}\text{E}$  往北流（圖 3-10(a)）並和 SECn 合併，並一起流入 NECC。由於在此流失大部份水量，故 SECs 流到太平洋西邊界附近時，傳輸量比聖嬰年夏季少了 13Sv（表 3-4，3-5）。

### 3.1.5 反聖嬰年夏季

圖 3-12 為反聖嬰年夏季太平洋赤道地區五個洋流的流速圖，圖中

可見，NEC 流至  $110^{\circ}\text{W}$  流速減弱並消失，和正常年夏季與聖嬰年夏季相同。圖 3-13 則是流況向量圖，50m 深處的流況可見，NEC 自  $90^{\circ}\text{W}$  有 NECC 往北匯入，流至  $110^{\circ}\text{W}$  又往回匯入 NECC，產生一個環流。比起正常年與聖嬰年的夏季，此環流特別的顯著（圖 3-13(a)）。

NEC 流至  $140^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  時傳輸量大增（表 3-6），自 200m 深處的流況可見 EUC 往北匯流（圖 3-13(b)）。此後 NEC 的傳輸量一路增加，但流速趨勢與正常年、聖嬰年略有不同。至  $170^{\circ}\text{E}$  之處流速減慢，但傳輸量卻反而增加（表 3-6，圖 3-12）。自海表面流況可見，SECn 在  $170^{\circ}\text{E}$  和 NECC 相遇，原本應該消失的 SECn，由於東風增強而衝力過大，往北穿越 NECC 並匯入了 NEC（圖 3-13(c)）。因此 NEC 的傳輸量增加。

NECC 自西邊界向東流，至  $170^{\circ}\text{E}$  附近由於 SECn 往北衝，使得 NECC 有短暫消失的現象（圖 3-13(c)）。接著圖 3-13(b)200m 深處流況可見，NECC 在  $160^{\circ}\text{W}$  附近有 EUC 往北匯入，流至  $130^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  以後又往北匯入了 NEC。故 NECC 的傳輸量減少（表 3-6）。

東風增強，使得 SECn 在反聖嬰年十分強盛，流速最快可達  $0.4\text{m/s}$ 。SECn 流至  $140^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  變慢，傳輸量也開始減少（表 3-6，圖 3-12）。最後 SECn 在  $170^{\circ}\text{E}$  附近往西北方向匯入 NEC（圖 3-13(c)）。自  $170^{\circ}\text{E}$  以西，SECn 雖然並未消失，但深度只剩下 50m 以內。匯入



NEC 之後，僅存的 SECn 繼續流至太平洋西邊界。

EUC 自西邊界附近流出後，與 NECC 連在一起，傳輸量忽多忽少、變化不定，由於其緯度和深度位置均與 SECs 十分接近，EUC 和 SECs 的傳輸量似乎呈現互補的趨勢（表 3-6）。自 160°E~170°E 的剖面圖可見（圖 3-14(a)~(b)），NECC 有沉降匯入 EUC 的現象，故 EUC 的傳輸量大增（表 3-6）。推測 NECC 原本就和 EUC 距離很接近，被 SECn 衝破以後，有部分水流匯入了 EUC。

流至 180°E，EUC 的傳輸量開始減少，相對的 NECC 的傳輸量反而增加。從 180°E~160°W 的剖面圖可見，此處 EUC 有湧升並匯入 NECC 的現象（圖 3-14(c)~(e)）。自 160°W 以東，EUC 和 NECC 才完全地分離。EUC 至 160°W 開始分支，一部份往北匯入 NECC，一部份往南流。150°W 的剖面圖中可見，4°S~8°S 有一道潛流，潛流的速度增加，EUC 的傳輸量減少（圖 3-14(f)）。

SECs 自東邊界向西流時有 NECC、SECn 及 EUC 匯入，故傳輸量一路增加（圖 3-13(a)）。流至 110°W~120°W 流速增快，但傳輸量反而減少（表 3-6，圖 3-12）。自剖面圖中可見，SECs 位於 4°S 的部分，在 110°W 時深度有 300m，至 120°W 突然變成 100m 深。推測 SECs 有匯入北邊 EUC 的跡象（圖 3-14(g)~(h)）。

SECs 在 130°W~160°W 有洋流往北匯入，傳輸量也逐漸增加（表

3-6)。SECs 自  $160^{\circ}\text{W}\sim 170^{\circ}\text{W}$  開始分成南北兩部份，北邊部分維持原來的緯度位置，在  $0^{\circ}\sim 7^{\circ}\text{S}$  之間；南邊部分則位於  $10^{\circ}\text{S}\sim 14^{\circ}\text{S}$  之間（圖 3-13(a)）。SECs 自  $180^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$  有一部份的 NECC 往南匯入，故傳輸量增加（圖 3-13(a)）。

### 3.1.6 反聖嬰年冬季

圖 3-15 為反聖嬰年夏季太平洋赤道地區五個洋流的流速圖，圖中可見，NEC 在  $90^{\circ}\text{W}$  的流速與正常年冬季相差不遠。而圖 3-16 則是流況向量圖，自 50m 深處的流況可見，NEC 自  $90^{\circ}\text{W}$  有 NECC 往北匯入，接著在  $110^{\circ}\text{W}$  又往回形成一個環流（圖 3-16(a)）。100m 深處的流況可見，北邊的洋流於  $120^{\circ}\text{W}\sim 130^{\circ}\text{W}$  往南匯入 NEC（圖 3-16(c)）。300m 深處的流況圖中，也可見 NEC 在  $150^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  有 NECC 往北匯入（圖 3-16(b)）。故 NEC 的傳輸量不斷增加。

自圖 3-16(b)200m 的深處的流況可見，NECC 在西邊界附近時流幅很寬，向東流至  $150^{\circ}\text{E}$  時往北移並匯入 NEC。NECC 至  $160^{\circ}\text{W}$  產生分支的現象，大部份北移且在  $150^{\circ}\text{W}\sim 130^{\circ}\text{W}$  匯入了 NEC，少部分南移至  $3\sim 4^{\circ}\text{N}$  並匯入了 EUC。因此 NECC 傳輸量大減（表 3-6）。流至  $110^{\circ}\text{W}$ ，NECC 的傳輸量有增加的趨勢，而 EUC 也恰好流失差不多的傳輸量，觀察  $110^{\circ}\text{W}$  的剖面，推測此處的 EUC 有流入 NECC 的

現象（圖 3-17(a)）。

SECn 自東邊界附近流出時，至  $100^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  流速最快（圖 3-15），但傳輸量卻沒有等比例的增加（表 3-7）。推測可能原因，SECn 流至  $100^{\circ}\text{W}$  恰逢 NECC 往南移動、EUC 往北流，故 SECn 受到包夾，導致流幅變窄。另外 SECn 有匯入南邊 SECs 的現象（圖 3-16(a)），傳輸量也有些許流失。至  $110^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$ ，SECn 的速度開始減慢，但由於北邊的 NECC 不停地往南匯入，SECn 的傳輸量有略為增加的趨勢（圖 3-16(a)）。

EUC 原本和 NECC 是連在一起的，越往東流則越分越開。自  $160^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$  時流速增快，但傳輸量反而減少（表 3-7）。剖面圖中可見，EUC 在  $160^{\circ}\text{E}$  之處和 NECC 合併，至  $170^{\circ}\text{E}$  又分開，恰好 NECC 分開以後傳輸量增加（表 3-7）。因此推測 EUC 流失的水量應是匯入了 NECC（圖 3-17(b)~(c)）。

SECs 在  $90^{\circ}\text{W}\sim 120^{\circ}\text{W}$  附近有 SECn 往南匯入，故傳輸量增加（圖 3-16(a)）。接著自  $120^{\circ}\text{W}\sim 140^{\circ}\text{W}$  起以西，位於 SECs 北邊的 EUC 開始變淺，並浮至海表面，SECs 也開始有匯入 EUC 的傾向（圖 3-16(c)）。SECs 流至  $150^{\circ}\text{E}$ ，由於各方洋流彙集並匯入，故傳輸量增加（圖 3-16(a)）。以正常年冬季來看，SECs 的傳輸量大約增加  $30\text{Sv}$ ，聖嬰年冬季增加了  $41\text{Sv}$ ，而反聖嬰年冬季則增加了  $28\text{Sv}$ 。由此可知，SECs

流至 150°E，洋流彙集量以聖嬰年最多、反聖嬰年最少。

## 3.2 太平洋赤道地區洋流之年際變化

### 3.2.1 夏季之年際變化

圖 3-18(a)~(c)分別是正常年夏季、聖嬰年夏季以及反聖嬰年夏季在赤道海表面的流況，箭頭代表流向，底圖顏色代表流速大小。從這三張比較圖中可見，正常年東北信風較強，因此赤道附近自東向西流的 SECn 和 SECs 都特別強烈。聖嬰年東風減弱，甚至有些許西風出現的傾向，因此圖中自西向東流的 NECC 清晰可見，且其強度十分顯著（圖 3-18(b)）。反聖嬰年的 SECn 比正常年更強，NECC 則變得更弱（圖 3-18(c)）。

圖 3-19(a)~(c)分別是正常年夏季、聖嬰年夏季以及反聖嬰年夏季在赤道 50m 深處的流況。在聖嬰年時，NEC 和 NECC 之間有一段顯著的距離（圖 3-19(b)）；反聖嬰年時，NEC 和 NECC 非常靠近、幾乎連在一起（圖 3-19(c)）。此現象和前人的研究十分符合（Kim et al., 2004；Wang et al., 2009；Johnson et al., 2002）。

自 50m 深處的流況可見（圖 3-19(a)~(c)），NECC 自西往東流，所處緯度並非維持不變。當 NECC 遇上 SECn 時有分支的現象，一部份北移並繼續前進，直到太平洋東邊界。另一部份可能和 EUC 合併，

也可能匯入 SECn 或 SECs。而 SECn 和 NECC 相遇之後，被 NECC 與 EUC 自南北包夾，沒有繞道或者往回流的空間，因此流幅越來越窄。最後 SECn 就消失了。

正常年時，NECC 在  $170^{\circ}\text{W}\sim 180^{\circ}\text{W}$  遇上 SECn 以後分支，北邊部份流速增快，南邊部分匯入了 EUC (圖 3-19(a))，SECn 則完全消失 (圖 3-1)。

聖嬰年時 NECC 和 EUC 原本就連在一起，且在  $150^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  與 SECn 相遇並分支，北邊部份的移動幅度比正常年來得小，北邊部份則往南匯入 SECs (圖 3-19(b))。NECC 的流速均明顯增快，SECn 則完全消失 (圖 3-6)。

反聖嬰年時，NECC 在  $160^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$  與 SECn 相遇並分支，其中一部分北移  $4\sim 5^{\circ}$  繼續前進，另一部份往南匯入 EUC 及 SECs (圖 3-19(c))。

故 NECC 遇上 SECn 之分支點的經度位置，在聖嬰年偏東邊，正常年居中，在反聖嬰年最偏西。這樣的位置差異，推測大多原因來自 NECC 以及 SECn 本身的強度。反聖嬰年時，SECn 比正常年來得強，NECC 比正常年來得弱，因此 SECn 一直流至西太平洋才和 NECC 相遇。由於 SECn 較強，使得 NECC 分支後北移的幅度增加，與北邊 NEC 更靠近。從邊界觀測，會發現 NECC 與 NEC 的距離特別近 (圖

3-19(c))。聖嬰年時，SECn 較弱而 NECC 較強，SECn 在中太平洋就遇上 NECC 而消失，且 NECC 往北移動的幅度不大。分支點偏東，北移幅度較小，從邊界觀測，會發現 NECC 與 NEC 的距離比較遠(圖 3-19(b))。

聖嬰年時的 SECs 比正常年來得弱許多(圖 3-19(b))，因此自東向西流的 SECs 似乎無法維持到西邊界。由圖中可見，SECs 流至 170°E 附近就越來越弱，最後在 175°E 往西南方向流。因此可以看出從 175°E 到太平洋西邊界之間，有一個類似缺口的形狀。

SECs 在反聖嬰年時特別強，因此不但順利抵達西邊界，流幅也越來越寬。SECs 流至 175°E 後，一部分以「S」型往西南方向流，另一部份繼續流到西邊界，再沿著陸地往南流(圖 3-19(c))。

正常年時 SECs 的流況與反聖嬰年很相近，至 175°E 也以「S」型往西南方向流。此現象與 Lukas (2001) 的研究裡平均場的觀察結果是吻合的。

圖 3-20(a)~(c)分別是太平洋赤道流域在聖嬰年夏季的 100m、150m、200m 深處之流況，3-20(d)~(f)為正常年夏季，3-20(g)~(i)則是反聖嬰年夏季。自圖中可見，越往深處除了 EUC 以外，其他的洋流已經漸漸不明顯了。

以 EUC 主軸最強部位的經度位置來看，聖嬰年、正常年至反聖

嬰年的位置有往西移動的趨勢。以圖中 100m 深處的流況為例，正常年時（圖 3-20(d)），EUC 的主軸最強部位在  $120^{\circ}\text{W}\sim 140^{\circ}\text{W}$  附近，這一點和前人的研究十分符合（Yu and McPhaden, 1999a; Yu and McPhaden, 1999b）；聖嬰年時 EUC 的主軸最強部位在  $130^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  之間，比起正常年更往東偏移（圖 3-20(a)）；到了反聖嬰年（圖 3-20(g)），EUC 的主軸最強部位在  $150^{\circ}\text{W}\sim 170^{\circ}\text{W}$  之間，比起正常年更往西偏。

以 EUC 的垂直變化來看，流速最強的地點也有越深越往西偏移的趨勢。以圖中正常年的流況為例，100m 深處的 EUC（圖 3-20(d)）主軸最強部位在  $130^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  之間；150m 深處的 EUC（圖 3-20(e)）主軸最強部位在  $150^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  附近；到了 200m（圖 3-20(f)）時 EUC 的強度已經減弱，主軸最強部位在  $160^{\circ}\text{E}$  左右，非常靠近太平洋西邊界。聖嬰年與反聖嬰年時，EUC 的主軸最強部位均有越深越往西偏移的趨勢，至 200m 深處，幾乎全部集中在西太平洋流域。

### 3.2.2 冬季之年際變化

以聖嬰年而言，冬季正是強度發展至巔峰的成熟期。圖 3-21(a)~(c) 分別是正常年冬季、聖嬰年冬季以及反聖嬰年冬季的海表面流況圖，表面箭頭代表流速向量，底層顏色則代表流速大小。自圖中可見

NECC 的流向幾乎與赤道平行，並沒有往北偏移的現象。且 SECn 持續流到西邊界，並未如夏季一般在中太平洋消失。3-22(a)~(c)則為 50m 深處的流況圖，聖嬰年冬季的流況和夏季很類似，由於東風減弱，使得 SECs、SECn 減弱，NECC 增強（圖 3-22(b)）。

反聖嬰年時，SECs 和 SECn 特別強，尤其在  $80^{\circ}\text{W}\sim 90^{\circ}\text{W}$  附近流速特別快。NECC 的速度較弱且流幅變窄，EUC 則有明顯增強的趨勢。北邊 NEC 的年際變化看來並不顯著，但因為和 NECC 距離近，緯度位置與流幅常隨著 NECC 有些許改變（圖 3-22(c)）。

正常年冬季時，NECC 的緯度位置最高可達  $10^{\circ}\text{N}$ （圖 3-22(a)），在聖嬰年時可達  $8\sim 9^{\circ}\text{N}$ （圖 3-22(b)）。反聖嬰年時，NECC 的緯度位置最高可達  $11^{\circ}\text{N}\sim 12^{\circ}\text{N}$ （圖 3-22(c)）。因此 NECC 和 NEC 在聖嬰年是距離最遠的，反聖嬰年時則距離最近，幾乎有相連的跡象。

冬季流況與夏季比較起來，有一點不大相同。冬季時 NECC 的緯度位置比 SECn 高出許多，因此 NECC 和 SECn 沒有相遇的機會。自海表面（圖 3-21）與 50m 深處的流況（圖 3-22）均可見，NECC 和 SECn 沒有相遇，也沒有「分支點」的問題。

SECn 在正常年時的流量可分為三部份：一部分匯入了南邊特別強盛的 EUC，另一部份往北匯入 NECC，剩下一部分繼續向西流，迅速減弱並消失（圖 3-22(a)）。



聖嬰年時 EUC 特別弱，在海表面看不見，圖中可見 SECn 和 SECs 有相連的跡象（圖 3-22(b)）。SECn 大致可分成兩部份：一部份往北流入 NECC，另一部份往西南和微弱的 EUC 合併，一同流入 SECs。

比起正常年與聖嬰年，NECC 在反聖嬰年時的緯度位置是最高的，可達  $10^{\circ}\text{N}$  以北。由於 SECn 的緯度位置不變，流速也增強，因此 SECn 沒有和 NECC 相遇，自東向西流到太平洋西邊界（圖 3-22(c)）。

正常年時，在  $175^{\circ}\text{W}$  附近，NEC 與 NECC 開始連在一起（圖 3-22(a)）。聖嬰年時，NEC 與 NECC 之間始終都有  $1\sim 2^{\circ}$  的距離（圖 3-22(b)）。反聖嬰年時，NEC 與 NECC 自  $180^{\circ}\text{E}$  開始就連在一起了（圖 3-22(c)）。由此可見，冬季流況雖然與夏季有些許不同，但 NEC 與 NECC 均在聖嬰年時距離最遠，反聖嬰年時距離最近。

SECs 在反聖嬰年時流速最快，正常年次之，聖嬰年最慢（表 3-2）。聖嬰年時，SECs 在海表面  $180^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$  處，有一個不連續的缺口（圖 3-21(b)），而 50m 深處的流況可見，SECs 自流至  $170^{\circ}\text{E}$  時有匯入 NECC 與 EUC 的現象（圖 3-22(b)）。反聖嬰年時，SECs 在  $110^{\circ}\text{W}\sim 120^{\circ}\text{W}$  有 EUC 及南邊的洋流匯入，故傳輸量大增（圖 3-22(c)）。

正常年時，索羅門群島的東岸，有一個自西向東的洋流，流速約  $0.1\sim 0.2\text{m/s}$ （圖 3-22(a)）。此洋流在聖嬰年時並未出現（圖 3-22(b)）。

反聖嬰年時此洋流的緯度位置比正常年偏南一些，約  $10\sim 11^{\circ}\text{S}$  左右，且流速比正常年更快。依據 Lukas (2001) 針對平均場的研究，這道洋流為南赤道反流 (South Equatorial Countercurrent, SECC)，約位於  $5^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{S}$ 。而 GODAS 的模式結果所顯示的位置在  $4^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{S}$ ，與 Lukas (2001) 的研究結果十分相近。SECC 不論何時出現，都緊貼著索羅門群島的東側，若以索羅門群島為中心來看，其東岸洋流在正常年與反聖嬰年為東南流。聖嬰年時則為西南流，且強度極弱，甚至可能消失不見。

從圖 3-22 可見，EUC 在 50m 深處主軸的最強部位均發生在  $140^{\circ}\text{W}\sim 130^{\circ}\text{W}$  附近，這和前人的研究完全符合 (Yu and McPhaden [1999a,b], Keenlyside 2002)。但原因究竟為何，仍舊值得討論。從圖中約略可見在正常年和反聖嬰年， $140^{\circ}\text{W}\sim 130^{\circ}\text{W}$  恰好是 SECn 往南流以及 SECs 往北流的地點，或許因為南北各有一支自東向西的洋流包夾、匯入，故 EUC 的傳輸量增加 (表 3-3、3-7)，流速也突然增快 (圖 3-4、3-15)。當 EUC 和其他洋流之間距離較遠的時候，就沒有明顯流速增快的情形出現。

圖 3-23 為太平洋赤道流域在聖嬰年冬季的 100m、150m、200m 深處之流況，3-23(d)~(f) 為正常年夏季，3-23(g)~(i) 則是反聖嬰年夏季。聖嬰年時，EUC 主軸的最強部位在  $120^{\circ}\text{W}\sim 130^{\circ}\text{W}$  左右 (圖

3-23(a))，正常年為  $130^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  (圖 3-23(d))，反聖嬰年則在  $150^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  (圖 3-23(g))，其位置有向西偏移的趨勢。

以垂直變化來看，EUC 主軸的最強部位也有越深越往西偏移的趨勢。以圖中正常年的流況為例，100m 深處 (圖 3-23(d)) 的 EUC 主軸最強部位在  $130^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  之間；至 150m 深處 (圖 3-23(e))，EUC 主軸最強部位明顯移到  $140^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$  附近；至 200m 深處 (圖 3-23(f)) EUC 的強度已經減弱，主軸最強的位置集中在西太平洋。整體而言，EUC 在冬季時主軸的最強部位，比夏季要偏東  $10\sim 15^{\circ}$ 。

### 3.2.3 EP-ENSO 和 CP-ENSO

自聖嬰年冬季的流況中可見 (圖 3-22(b))，SECN 的流速減弱，其流量大致分為三部份。一部份匯入 NECC，一部份往南流入 SECs，另一部份在  $100^{\circ}\text{W}$  忽然轉向，自西往東流至太平洋東邊界。針對 SECN 在聖嬰年冬季此種特殊流況，我們回溯至最初 1988~2007 年的歸類並加以分析比較。依據前述的研究方法，歸納出的聖嬰年冬季分別為：1991、1994、1997、2002、2004、2006 年的 12 月。

觀察後發現，1991、1994、2002、2004、2006 等 5 個聖嬰年冬季的太平洋流況十分相似，以 2002 年為典型代表 (見圖 3-24(a))，其中 SECN 流速偏弱，自東向西流至中太平洋匯入 NECC。但是 1997

年的流況有些不同，原本應該變弱的 SECn 和 EUC，流至中太平洋後速度大幅增快，因此在 170°W 附近造成對衝的現象。另外 SECn 一部分洋流在 100°W 轉向，流到太平洋東邊界。而南邊的 SECs 在 110°W~140°W 則突然消失了（圖 3-24(b)）。

圖 3-25(a)~(b)為太平洋在 2002 年冬季與 1997 年冬季在 140°W 處的水平流場剖面。2002 年的流場剖面中可見（圖 3-25(a)），EUC 特別弱，NECC 則增強，與 6 個聖嬰年冬季的平均結果非常類似。1997 年的流場剖面則非常不一樣，EUC 的深度延伸到 1000m 以下，且 SECs 和 SECn 均異常地增強（圖 3-25(b)）。

聖嬰年冬季有兩種不同型態的流況，與 Kao and Yu (2009) 的研究結果相符。作者提出 ENSO 有兩種不同的型態，Eastern-Pacific ENSO (EP-ENSO) 的海表面溫度異常起源於東太平洋，接著往西邊擴張（見圖 3-26(a)）；Central-Pacific ENSO (CP-ENSO) 的海表面溫度異常則發生於中太平洋，逐漸往兩邊擴張（見圖 3-26(b)）。研究中指出，EP-ENSO 的年份為 1977~1978 年，1982~1983 年，及 1997~1998 年。而 1988~2007 年除了 1997 年為 EP-ENSO，其他均屬於 CP-ENSO。因此 1997 年的聖嬰年冬季，才會與其他年份的聖嬰年冬季特別不一樣。

進一步觀察兩種型態聖嬰年下的太平洋流況可見，正常年冬季

時，SECn 在東太平洋最強，流至中太平洋約  $160^{\circ}\text{W}$  時最弱，而 EUC 自西向東流至  $130^{\circ}\text{W}\sim 150^{\circ}\text{W}$  左右速度最快（圖 3-27(a)）。CP 型聖嬰年冬季時，SECn 和 EUC 的流速趨勢與正常年冬季差不多，但是速度明顯減弱了約  $0.1\text{m/s}$ （圖 3-27(b)）。EP 型聖嬰年冬季時的太平洋流況則特別不同。原本在中太平洋很弱的 SECn，流速突然大增，而 EUC 主軸最強的位置也由東太平洋往西移至  $170^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$ ，因此流速變化形成雙峰的型態（圖 3-27(c)）。

#### 3.2.4 夏冬兩季年際變化之比較

不論夏季或冬季，正常年時，SECn 消失的位置均為：聖嬰年最偏東，正常年次之，反聖嬰年偏西。且聖嬰年時，NECC 和 EUC 普遍都有連在一起的跡象。

以夏季而言，不論是正常年、聖嬰年或反聖嬰年，NEC 自東向西流時，其緯度位置均有越流越往南偏移的趨勢，至太平洋西邊界時流域均擴充至  $10^{\circ}\text{N}$  以南，流幅也不停增加。反觀冬季時，NEC 的流向較固定，軌跡幾乎平行於赤道，所以 NEC 的流域均維持在  $10^{\circ}\text{N}$  以北。總結來說，NEC 的緯度位置在冬季比在夏季還要偏北。

位在 NEC 南邊、自西向東流的 NECC，在夏季時流向十分固定，且處於低緯度，唯有和 SECn 相遇時，才會分支並往北偏移，因此

NECC 的流域最北頂多至  $7\sim 8^{\circ}\text{N}$ 。冬季的 NECC 自太平洋的西邊界流出時，就有強烈往東北流的趨勢，因此所處緯度比夏季還要偏北，流域可達  $10^{\circ}\text{N}$  左右，因此沒有和 SECn 相遇的機會。

在正常年與反聖嬰年的冬季，約  $5^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{S}$  之處會出現 SECC，且位於其北邊的 SECs 越強、SECC 也跟著增強。但是在正常年和反聖嬰年夏季時 SECC 卻不見蹤跡，取而代之的是 SECs 流到邊界時所產生的「S」型水流。聖嬰年夏季時，SECs 比較弱，自東向西流至  $175^{\circ}\text{W}$  時往西南方向流，因此在和太平洋西邊界之間產生了一塊缺口。冬季時 SECs 則會抵達邊界。因此夏季時索羅門群島的東岸會出現強勁的西南流，在冬季則會有東南流產生。

## 第四章 結論

### 4.1 結論

從六種型態（正常年夏季、正常年冬季、聖嬰年夏季、聖嬰年冬季、反聖嬰年夏季、反聖嬰年冬季）的流況，可以分析太平洋流域在六種年份的年際變化。夏季時 NECC 有和 SECn 相遇並分支的現象，其中一支北移並繼續向東流，另一部份往南匯入 EUC。正常年夏季時，NECC 遇上 SECn 之後分支的地點約在  $170^{\circ}\text{W}\sim 180^{\circ}\text{W}$ （圖 3-19(a)），聖嬰年夏季時在  $150^{\circ}\text{W}\sim 160^{\circ}\text{W}$ （圖 3-19(b)），反聖嬰年夏季則在  $160^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{E}$  左右（圖 3-19(c)）。由於聖嬰年的分支點比正常年偏東，自海表面流況可見，NECC 顯得較晚分支北移，和 NEC 之間距離較遠（圖 3-18(b)）。反聖嬰年時，NECC 的分支點偏西，故 NECC 在西邊界附近即分支北移，與 NEC 距離拉近，甚至有相連的跡象（圖 3-18(c)）。

正常年與反聖嬰年夏季時，SECs 流至  $150^{\circ}\text{E}$  後以「S」型方向往南流（圖 3-19(a),(c)）。但聖嬰年夏季時 SECs 卻自  $175^{\circ}\text{W}$  即往西南方流下，與陸地之間產生一個明顯的缺口（圖 3-19(b)）。

冬季時 NECC 的起始緯度較夏季時更偏北，因此沒有和 SECn 相遇的現象。SECn 在正常年時流至  $160^{\circ}\text{W}$  就幾乎消失了（圖 3-22(a)）。在反聖嬰年時由於東風增強，SECn 自東向西流至  $150^{\circ}\text{E}$  才消失（圖

3-22(b))。在聖嬰年時，SECN 有大量匯入 SECs 的現象(圖 3-22(c))。另外在正常年與反聖嬰年時，索羅門群島的東岸均會出現一道自西向東的反流，此為 SECC (圖 3-22(a),(c))。聖嬰年時 SECC 則不會出現(圖 3-22(b))。

圖 4-1(a)~(c)是正常年、聖嬰年與反聖嬰年在夏季時的流況示意圖，紅色線條代表自西向東的洋流，藍色線條代表自東向西的洋流，海表面 200~300m 深處的洋流，則以虛線表示。自圖中可見正常年夏季時(圖 4-1(a))，NECC 自  $90^{\circ}\text{W}$  之間往北流入 NEC，NEC 又在  $110^{\circ}\text{W}$  往回匯入 NECC，因此  $90^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  形成一個環流，稱為 Costa Rica Dome(Kessler, 2006)。水深 200m 深處，EUC 在  $170^{\circ}\text{W}$  和  $170^{\circ}\text{E}$  附近都有分支並往北流的現象。聖嬰年夏季時(圖 4-1(b))，NECC 在  $160^{\circ}\text{E}$  時一部份會沿著太平洋西邊界往南流。而 SECs 流至  $170^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$ ，在索羅門島東岸有提早往西南流的趨勢。反聖嬰年夏季時(圖 4-1(c))，NEC 在  $90^{\circ}\text{W}\sim 110^{\circ}\text{W}$  所形成的環流特別明顯。另外 200m 深處可見，EUC 在  $170^{\circ}\text{W}$  有分支的現象，一部份往北流，另一部份往南形成潛流。

圖 4-2(a)~(c)為正常年、聖嬰年與反聖嬰年在冬季時的流況示意圖。正常年冬季時，NEC 在  $110^{\circ}\text{W}$  沒有明顯往回流入 NECC 的現象，而是直接向西流至太平洋西邊界(4-2(a))。EUC 在  $150^{\circ}\text{E}$  附近有分



支的現象往北流。除此以外，在南太平洋約  $4^{\circ}\text{S}\sim 6^{\circ}\text{S}$  之處出現了 SECC (Lukas, 2001)。聖嬰年冬季時 (圖 4-2(b))，SECn 強度減弱，有往南流入 SECs 的現象。EUC 流至  $140^{\circ}\text{W}$  左右，會分支並往南形成潛流。另外 SECs 自東向西流至  $170^{\circ}\text{E}$  左右，有一部分往北匯入 NECC 與 EUC，故傳輸量大減 (表 3-6)。反聖嬰年冬季時 (圖 4-2(c))，SECn 流速增快，一路流至西邊界，甚至有衝破 NECC 並往北流入 NEC 的現象發生。另外 EUC 和 NECC 在 200m 深處均有分支的現象。

#### 4.2 未來方向

太平洋赤道地區所涵蓋的流域非常廣，除了本文重點所探討的五個洋流，尚有其他諸如 EIC (Equatorial Intermediate Current)、SECC (South Equatorial Countercurrent)、NSCC (North Subsurface Countercurrent)、SSCC (South Subsurface Countercurrent) 等等。未來的研究重點，除了針對 ENSO 的型態再深入探討之外，也希望藉由赤道其它洋流之間傳輸量及流速變化，進一步研究洋流之間相互影響的情況。