

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

「聖嬰」(El Niño)為熱帶太平洋上最顯著的年際變化現象，與其伴隨之大氣變化為「南方震盪」(Southern Oscillation)，兩者合稱為 El Niño/Southern Oscillation 或 ENSO。許多觀測資料顯示，ENSO 事件發生期間不僅造成赤道太平洋地區東西方向的水平及垂直方向海水溫度結構之改變，同時也會改變全球許多地區之短期氣候特徵。因此 ENSO 相關研究不僅是科學問題，對改善氣候預報技術也極具應用價值。

全球暖化是近年來備受關注的一個議題，在 IPCC 評估報告的結果指出，人為排放的溫室氣體 (Greenhouse gases, GHG) 是造成暖化現象的一大原因，其中又以二氧化碳 (CO₂) 的貢獻最大。在 IPCC 第四次評估報告中，多個模式進行了 CO₂ 增量實驗，以模擬未來暖化後的全球環境狀態，提供了一個未來環境可能造成的改變，因此也延伸出許多關於全球暖化對於各種現象所造成的影響之研究。全球暖化對於聖嬰現象可能造成的影響，近年來也已經有一些相關研究結果發表。如 Markus et al.(2006)用較現今高六倍的二氧化碳濃度模擬未來環境之變化，其結果發現西北太平洋區域 SST 比現在增加了大約 3K 的溫度。

本研究試著以海洋的觀點探討全球暖化對於聖嬰現象之影響，主要目的在於利用物理參數化較複雜且完備之 Parallel Ocean Program (POP) 海洋模式，探討在典型 El Niño 在目前的氣候態以及暖化後態之差異，以及產生此差異之可能物理因素。

1.2 文獻回顧

關於聖嬰現象的研究，最早為英國數學家 Walker (1924) 所提出之南方振盪 (Southern Oscillation) 理論。Walker (1924) 描述南太平洋地區東邊的大溪地與西邊的達爾文兩地氣壓呈現負相關的現象。而後 Bjerknes (1969) 將沃克環流 (Walker Circulation) 和南方震盪連結在一起，開啟了熱帶海氣交互作用研究之先河。Bjerknes (1969) 認為赤道西太平洋為暖池所在地區，為對流上升區。東太平洋則為冷舌區，海水溫度低為下沉區，而赤道低層為東風信風帶，高空為盛行西風帶，因此形成一個東西方向的垂直環流，稱為沃克環流。Bjerknes (1969) 成功的利用沃克環流的改變合理的解釋了赤道太平洋地區發生的 ENSO 現象，即聖嬰現象實際上是海洋與大氣的交互作用下造成的現象。

科學研究上對於 ENSO 發生與否之定義主要有二種：Trenberth (1997) 以 Niño3.4 區 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$; $120^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{W}$) 的海表面溫度距平值為基準，5 個月滑動平均如果連續 6 個月大於 0.4°C ，則定義為一次 ENSO 事件的開始。NOAA 之定義則為 Niño3.4 區域內海平面溫度距平值 3 個月滑動平均連續 5 個月大於等於 0.5°C 即定義為 El Niño 事件，並稱為 Oceanic Niño Index (ONI)。

1997-98 年發生的 ENSO 事件是 20 世紀觀測記錄上最強的一次，Wang and Weisberg (1999) 將 1997 年的 ENSO 分為 6 個階段，並使用 NECP 再分析資料分別討論海面氣壓、外逸長波輻射與風場距平在各階段的演變，他們發現赤道西太平洋的異常西風距平造成了 97 年 ENSO 的發展，同樣由於成熟期在西太平洋上的東風距平導致此一 ENSO 事件的消散，顯示風場的變化與 ENSO 的密切關係。

有關 ENSO 的機制，一般較為接受的主要可分為 3 個理論，一為「延遲震盪子」(Delayed Oscillator) 理論 (如：Suarez; Schopf; Battisti and Hirst; Schopf

and Suarez, 1987; Battisti, 1988 ; Suarez and Schopf, 1988; Battisti and Hirst, 1989)。

該理論利用赤道傳播的羅士比波 (Rossby wave) 及凱爾文波 (Kelvin wave) 及其相位的延遲解釋 ENSO 的生成及消散，此理論可以解釋 ENSO 的生成及消散，但仍然無法解釋 ENSO 的不規則週期以及強度的變化。第二個理論為 Jin (1997) 所提出的「充電/放電震盪子」(Recharge/Discharge Oscillator) 理論，根據此理論，赤道太平洋上大氣風場的異常發生之後，接著才引發斜溫層深度的變化，提供 ENSO 事件的負回饋機制。El Niño 發生時，赤道東太平洋有 SST 正距平，其西側會產生西風距平將西太平洋暖池區的暖海水往東傳，且赤道地區之西風距平大於兩側，因此會在赤道兩側分別形成氣旋式旋度，根據 Sverdrup 平衡，赤道兩側之氣旋式旋度會將海水分別向兩極的方向輸送，由於海水向東及赤道外流動導致赤道地區斜溫層變淺的現象稱為 discharge，隨後赤道東太平洋的 SST 正距平開始減弱，La Niña 時則為相反的過程，即 recharge。第三個理論為 Wang and Weisberg (1998) 提出的「西太平洋震盪子」(Western Pacific Oscillator) 理論，赤道中太平洋地區的凝結加熱會引發赤道兩側形成氣旋式環流且在赤道產生西風距平，導致東太平洋地區斜溫層的加深以及 SST 增暖的現象，風應力對於 SST 的正回饋使得 SST 正距平持續發展，赤道兩側的氣旋同時也使得斜溫層變淺，因此赤道西太平洋地區 SST 降溫並在赤道兩側分別形成高壓帶，其所導致的東風距平造成湧升流加強冷卻上層海水，此一冷卻現象向東傳遞提供了一個降溫的負回饋機制，消散 ENSO 的 SST 增溫。

至於全球暖化對於 ENSO 的影響之研究，Ye and Hsieh (2008) 利用 NOAA extended reconstruction SST 資料，將 20 世紀分為 2 個時期，分別為工業化前 (1900-1949) 及工業化後 (1950~1999)，他們發現在 1950-1999 週期之平均 SST 在熱帶太平洋地區增溫 0.3°C 以上，並且呈現東太平洋地區增溫大於西太

平洋的空間分布 (El Niño-like pattern)，進一步比較 2 個時期的 El Niño 以及 La Niña 發現，El Niño 最大增溫中心往東偏移，由 120°W 移至 90°W，La Niña 則是往西偏移，此一差異也造成了 El Niño 與 La Niña 的不對稱性增加，以及非線性作用的增強。這篇研究以觀測資料顯示了在人為活動造成環境的改變，也對 El Niño 事件產生了影響。

Collins(2000)指出，早期數值模式對於現在氣候態下的 ENSO 的模擬再現度不佳，導致了暖化環境下模擬的 ENSO 與現狀改變不大的結果，而後期物理參數設定較為完備的模式則得到不同的結果，顯示模式物理參數化的重要性。

An et al. (2006) 分析 IPCC AR4 模式模擬結果發現，熱帶太平洋地區海表層 SST 與次表層海溫對於暖化環境之反應時間不同，造成次表層海水增溫速率小於 SST 的增溫，於是垂直方向的溫度梯度增加，比起單純 SST 的改變更能影響 ENSO 在暖化環境下的改變。

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，同樣得到與 An et al. (2006) 相同的結果，並且發現當 CO₂ 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，表示海洋在氣候上的改變持續時間遠比大氣長。他們也對海洋內部動力機制進行探討並得出垂直溫度梯度 T_z 影響垂直熱通量 wT_z 項是 ENSO 長期氣候模擬統計下的最大貢獻項。

1.3 論文架構

本文共分為五個章節，第一章為前言，說明研究的動機以及前人所做的研究之回顧。第二章為資料及模式介紹，共分三小節，2.1 節將介紹本研究所使用

到的所有資料之來源以及基本資料，並說明對資料的處理方式，2.2 節介紹本研究使用的數值模式之基本資料及模式內部物理方程式，2.3 節詳細說明實驗的各項設定。第三章對於本研究使用的 POP 模式與觀測資料進行校驗，以了解模式的基本特性，共分為四個小節，3.1 節檢驗海表面溫度之四季變化，3.2 節檢驗海表面洋流之四季變化，3.3 節檢驗鹽度之四季變化，3.4 節檢驗海洋在垂直方向溫度隨著深度的變化情形。第四章探討模式所模擬出之 El Niño 在暖化前後所造成的改變，4.1 節介紹 POP 模式之 El Niño 實驗結果，分別討論整體環境場及其距平值在暖化環境下的改變，4.2 節則對於實驗結果進行分析，解釋其改變的原因。第 5 章為結論與討論，除總結主要結果外，並提出未來可能研究方向。

