

## 第五章 總結

近年來全球暖化的問題成為世界各國關注的議題，關於暖化方面的研究也相對的增加，由近 100 年的觀測資料中可以發現，由近 50 年平均 ENSO 的強度相較於 1900~1951 年之平均有明顯的增加，赤道信風帶的東風也有減弱情形，也使得東西向之沃克環流減弱，由海洋的改變進而影響了大氣環流的結構(Yang and Zhang, 2008; Ye and Hsieh, 2008)。此外，藉由 IPCC AR4 提供的模式模擬資料，也提供了不同 CO<sub>2</sub> 增量所可能產生的未來氣候環境。

本研究著重在海洋內部機制的探討，因此利用一個物理參數化較完備的全球海洋環流模式，Parallel Ocean Program (POP)，並以 IPCC AR4 提供之模式資料中選取 6 個模式作為現在氣候態及未來氣候態下的初始環境場，為了突顯暖化影響下環境場的改變，我們採用其中 A2 情境之模擬資料，即 CO<sub>2</sub> 增量為現在的 2 倍條件之未來氣候態，並使用 20 世紀最強的一次 El Niño 之擾動風場進行實驗。

POP 模式所模擬之現在氣候態以及未來氣候態下的 El Niño，基本上在發展及消散的時間與 1997 年 ENSO 事件符合，但在結構上不完全相同，模式的 El Niño 海溫正距平由西太平洋開始往東發展，轉變期時東太平洋也轉為正距平，並向西發展，但是模式無法正確模擬出秘魯沿岸的海溫增溫的現象，因此在 El Niño 的結構也與實際狀況有所差異。由暖化前後的 SST 距平值可以發現，暖化環境下對於 El Niño 的週期與結構並無明顯的改變，但在暖化後的 El Niño 發展期至成熟期，SST 最大正距平所在區域都有增強的現象，即暖化後 El Niño 的振幅增強。另外在海溫的垂直分布上，暖化後的 El Niño 同樣也有振幅增強或減弱的現象。但並非整層海水都是一致性的改變，在同一區域內海表層與次表層的

海溫，在暖化後可能會產生相反的變化趨勢，此種不平均的溫度改變會造成表層與次表層的垂直溫度梯度加大，對於垂直流速同樣也造成影響。

模式模擬出的暖化後未來氣候態在大氣與海洋兩個部分，都與現在氣候態有明顯差異，為了釐清暖化後的未來氣候狀態下 El Niño 增強的原因，我們另外進行了一項實驗，利用暖化環境下的大氣風場來驅動現在氣候態下的海洋，結果發現，暖化後風場所引發的 El Niño 沒有出現明顯振幅增強的現象，由此結果可以得知，風場的變化並非暖化後 El Niño 的主要原因，海洋氣候態的變化才是關鍵所在。

為進一步探討海洋藉由何種方式增強 El Niño 的強度，本研究參照 Yang and Zhang (2008) 分析 El Niño 所使用的海溫方程，對 POP 模式所模擬之 El Niño 事件進行能量收支分析，並分為表層以及平均斜溫層兩個部分討論，赤道太平洋地區海洋的能量收支示意圖如圖 5.1 所示。分析結果發現，海洋表層暖化後 El Niño 成熟期的振幅增強，來自 El Niño 0 年 9~11 月期間的增溫貢獻，此期間內的增溫貢獻項有： $-u'\bar{\theta}_x$ 、 $-\bar{v}\theta'_y$ 、 $-v'\bar{\theta}_y$ 、 $-\bar{w}\theta'_z$  以及  $-w'\bar{\theta}_z$  共 5 項，但垂直平流的增溫作用較小，造成海表層處暖化後溫度距平的增強，主要來自水平溫度平流項的貢獻。在平均斜溫層的能量收支分析，所探討的深度不同，暖化前的平均斜溫層約在 75~100 公尺，暖化後則是 50~75 公尺，分析結果發現，對於暖化後 El Niño 增強的正貢獻項，在斜溫層處只有  $-u'\bar{\theta}_x$  及  $-w'\bar{\theta}_z$  2 項，其中以  $-w'\bar{\theta}_z$  為最大正貢獻項。進一步分析後發現此項的增加，主要是由於垂直溫度梯度的加強所導致，藉由不同深度的能量收支可以得知，造成表層海水與次表層海水增溫的原因並不相同。

除了  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  的 El Niño 模擬之外，我們也進行了高解析度 ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ) 的模擬並將實驗結果置於附錄(A)。由實驗結果發現，高解析度版本對於 El Niño 的模

擬，在 SST 正距平的結構上較完整，成熟期的最大增溫中心也比較接近赤道東太平洋，並且在整體強度上較低解析度版本高，即表示提高解析度有助於增加 El Niño 模擬的正確度。但分析高解析度版本 El Niño 之後發現，暖化後之 El Niño 的增強幅度並沒有明顯的較低解析度模擬顯著，而其增溫區域也較低解析度版本擴散，增溫的範圍較不集中在 nino3.4 區域。至於高解析度版本的能量收支分析所得到的最大增溫項，則與低解析度版本無太大差異，由此可知在 POP 模式中，提高解析度雖然有助於單一 El Niño 模擬效能的提升，但對於暖化後 El Niño 改變，則沒有顯著的提升。



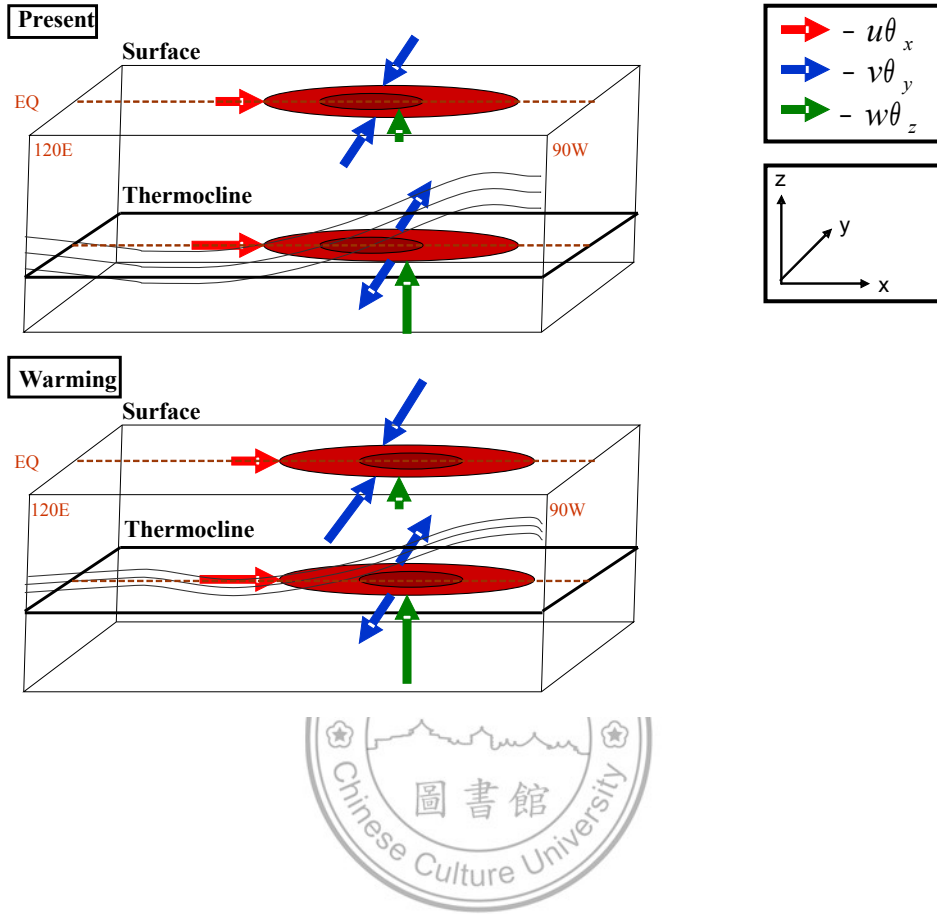


圖 5.1：能量收支平衡示意圖。