

第四章 模式可預報度隨 ENSO 相位與季節的變化

4-1 分析方法

短期氣候預報的科學基礎主要是來自大氣低層邊界情況，特別是對海表面溫度的預報能力，就算海表面溫度可以被預報的很好，然大氣在動力過程仍有渾沌的隨機特性，使大氣的變化不會完全的被表現出來，因此海水溫度距平雖然對整體的氣候有所影響，卻無法完整的解釋季節尺度的大氣在特定時間的發展情形。

系集(ensemble)預報是利用數個差距很小的初始值來做數個個別模擬的預報方法，在第三章利用變異量分析方法，將受邊界海表面溫度驅動力所產生的訊號，和從大氣系統內部動力過程所產生的訊號分開來，進而討論潛在的可預報度，主要著重在不同海表面溫度驅動下可預報度的變化情形；本章我們主要探討模式在相同的邊界條件的驅動下，模式的反應是否一致？系集模擬的模式在特定區域產生的反應，主要是因為相同的邊界條件驅動的結果，因此會有較高的距平型態相關係數(Anomaly Pattern Correlation, APC)；若相同的邊界條件下模式產生不同的反應，代表著模式受到模式內部動力過程的影響，這時候的距平型態相關係數較低，所以可以利用距平型態相關係數來評估模式的預報度。

本章中主要是在特定的區域對特定的變數就 ENSO 暖事件 (warm

event) 和冷事件 (cold event) 也就是 El Nino 和 La Nina 以及非 ENSO 活躍年 (其他年) 還有所有年平均等, 四種不同的情況下來討論所模擬大氣的訊號和雜訊間互相影響下的可預報度季節性變化。

4-1.1 距平型態相關係數 (Anomaly Pattern Correlation, APC)

Chen and Van den Dool(1997) 和 Shukla et al.(2000)利用距平型態相關係數的高低作為評估可預報度高低的指標 $apc = \frac{[ab]}{[a^2]^{1/2}[b^2]^{1/2}}$,

[]表示所選地區的區域平均。在系集模擬的個別模擬中任選 2 個共有

N 種不同組合時 $APC = \frac{1}{n * N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N apc_{i,j}$, n 表示年份

在系集模擬中模式均在特定的區域產生類似的反應, 主要是因為相同的邊界條件驅動下所產生的結果, 所以有較高的距平型態相關係數; 如果在相同的邊界條件下模式產生不同的結果, 表示模式受到模式內部動力過程的影響, 此時的距平型態相關係數較低。也就是當個系集間距平型態相關係數高時, 顯示由海溫 SST 所主導的氣候訊息大於由模式內部動力機制所主導的氣候雜訊, 所以可預報度較高。

4-1.2 訊號與雜訊

為了解不同模式間可預報度的差異, 利用第三章所定義的氣候訊號

$$\left(\sigma_{signal}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \right) \text{ 與氣候雜訊 } \left(\sigma_{noise}^2 = \frac{1}{N(n-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \right)$$

畫出訊號與雜訊的演變。

4-2 資料處理

使用 ECHAM4、CWB、GFDL、NCEP 等四個模式的模擬資料，這四個模式分別有 10 個個別模擬，在這 10 個個別模擬中任選二個，共有 45 種不同的組合，四個模式的資料長度全部選取並處理成 1956 年至 1999 年共 44 年的三個月季節平均資料，為配合 ENSO 年選取的資料時間由 1956 年 8 月至 1999 年 7 月，共有 43 年，所以季節平均的距平型態相關係數為 $APC = \frac{1}{43 * 45} \sum_{i=1}^{43} \sum_{j=1}^{45} apc_{i,j}$ 。

為瞭解正、負海表面溫度力對可預報度所造成的不同變化，因此挑選 1956 年至 1999 年間 6 個強的 El Nino 年（1957/58、1972/73、1982/83、1986/87、1991/92、1997/98）和 6 個強的 La Nina 年（1970/71、1973/74、1975/76、1984/85、1988/89、1998/99），和全部年平均及全部年減去 6 個強的 El Nino 年和 6 個強的 La Nina 年後的其他年，分別計算 El Nino、La Nina、其他年和所有年平均等這四種情形下的 APC。

根據 Wang et al. (2000) 的研究，亞洲太平洋地區在 ENSO 發生時會在秋末開始快速建立反氣旋（氣旋）環流，並會持續到春季或初夏，訊號的起源和維持與熱力作用及羅士貝波的耦合有關，而且亞洲夏季的氣候不但受 ENSO 的影響，可能還包括其他的機制的影響，所以我們會對亞洲太平洋地區的海平面氣壓場的變化較感興趣，Z500 高度場在低緯度地區的變化不大，所以我們把焦點放在中緯度的 PNA

(Pacific-North American) 地區，PNA 型態是北半球冬季熱帶外對 ENSO 作用力的主要的遙相關(Wallace and Gutzler, 1981; Horel and Wallace, 1981)，Kumar and Hoerling(1998)指出 PNA 區域的可預報度和熱帶太平洋 SST 距平的相位和振幅有密切的關係，而這個區域在 1-3 月間有較明顯的波動型態的可預報度，而降水場受到海表面溫度區動力的影響最明顯，整體來看，熱帶太平洋降水場的可預報度最高，東亞地區有較明顯的季節性變化，夏季時東亞地區的氣候不僅受 ENSO 影響更與青康藏高原的加熱、歐亞大陸覆雪有關 (Wang et al., 2000)，和熱帶太平洋地區海溫的驅動力比較沒有直接的關係，

本章中主要針對不同模式模擬結果在同一區域的比較，如海平面氣壓場在亞洲地區 ($0^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$; $90^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)，降水場在東亞地區 ($20^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$; $90^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)，Z500 高度場在 PNA 地區 ($20^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$; $180^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{W}$) 的 APC 和可預報度中的訊號與雜訊在這些區域隨季節的變化和受 ENSO 事件影響的變化。

4-3 結果

4-3.1 海平面氣壓場在亞洲地區 ($0^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$; $90^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)

ECHAM4 模式：由圖 4-1 的全部年平均來看，可以發現可預報度有 2 個相對的極大值，分別是在 9 月 (約 0.32) 和 2 月 (約 0.29)，在非 ENSO 年的極大值只出現在 9 月和全部年平均相當；El Nino 期間，可

預報值的相對極大值分別是在 9 月 (約 0.48) 和 2 月 (約 0.53)，但 La Nina 年時極大值出現在 2 月的 0.45。由圖 4-2 El Nino 和 La Nina 年的氣候訊號的變化，可以知道 El Nino 年在 8 月就存在蠻強的氣候訊號，在 1-3 月時達到最大；而 La Nina 年的訊號較弱，到 10 月後才有較強的訊號建立，在 1-3 月時達到最大；在雜訊變化上這兩個時期相當，在 6-7 月 La Nina 有較大的雜訊；所以造成這二個時期可預報度差異的最主要原因在於訊號的不同。

CWB 模式：由圖 4-3 的全部年平均來看，可預報度的極大值在 9 月 (約 0.44)，極小值約在 1 月 (約 0.22)，在非 ENSO 年的極大值、極小值出現月份和全部年差不多但是大小約小 0.6 左右，El Nino 期間，可預報值在 7 月有相對極大值 (約 0.6)，但 La Nina 年時極大值出現在 9 月的 0.63，其他三種情況下的極小值都在 1-2 月間，唯獨 La Nina 年在 3 月後即一路下降到 7 月。由圖 4-4 El Nino 和 La Nina 年的訊號的變化可以看出，8-10 月 La Nina 的訊號明顯大於 El Nino，11-3 月 El Nino 的訊號略大於或等於 La Nina 的訊號，但這段期間 El Nino 的雜訊還是大過 La Nina，所以 La Nina 的可預報度還是高於 El Nino，4-7 月 La Nina 和 El Nino 的雜訊相當，但是 El Nino 的訊號明顯高過 La Nina，造成這段期間的 La Nina 可預報度顯著的減低。

GFDL 模式：由圖 4-5 的全部年平均來看，可預報度的極大值在 7 月（約 0.48），在非 ENSO 年的極大值、極小值出現月份和全部年差不多，可預報度的極大值在 7 月（約 0.48）和全部年平均一致，El Nino 期間，可預報值在 7 月有相對極大值（約 0.6），但 La Nina 年時極大值出現在 9 月的 0.58。由圖 4-6 El Nino 和 La Nina 年的訊號的變化可以看出，8-10 月 La Nina 的訊號明顯大於 El Nino，11 月以後 El Nino 的訊號略大於或等於 La Nina 的訊號，但這段期間二者的雜訊相當，所以 El Nino 的可預報度要高於 La Nina，在 5-7 月 La Nina 的訊號明顯減少造成 La Nina 的可預報度也減少很多。

NCEP 模式：由圖 4-7 的全部年平均的 APC 來看，可預報度的極大值在 2 月（約 0.56），在非 ENSO 年的可預報度變化型態和全部年差不多，但在 7 月份時超過全部年平均達到 0.52，El Nino 和 La Nina 期間，可預報值在的極大值都在 1-2 月間（約 0.72）。由圖 4-8 El Nino 和 La Nina 年的訊號的變化可以看出，在 8-10 月雜訊大小相當下，La Nina 的訊號明顯大於 El Nino，所以 La Nina 有較大的可預報度，11-4 月二者訊號和雜訊並無太明顯的差異，以致可預報度的大小也相當，5-7 月二者間的雜訊大小相當，但是 La Nina 的訊號減小非常快，導致可預報度的值也減小很多甚至是四者中最小。

綜合以上四個模式的結果發現：在非 ENSO 年的極大值、極小值

出現月份和全部年差不多，在大小量級上大多數的月份小於全部年平均但在 7 月時二者相當甚至在 NCEP 模式中有超越全部年平均，所有的模式在 2 月份的可預報度都有相對極值存在，在 9-10 月除了 ECHAM4 模式外其他三個模式的 La Nina 的可預報度都大於 El Nino，11-5 月份模式之間表現的差異就很大，ECHAM4 模式和 GFDL 模式中 El Nino 的可預報度都大於 La Nina，NCEP 模式中二者的大小和變化都差不多，CWB 模式則在四月之前 La Nina 的可預報度都大於 El Nino，5-7 月所有的模式中 La Nina 的訊號減小非常快，導致可預報度的值也快速減小。

4-3.2 降水場在東亞地區 ($20^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$; $90^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)

ECHAM4 模式：由圖 4-9 的全部年平均的 APC 來看，可預報度的變化在 8 月後升高，極大值在出現在 1 月（約 0.32），而後下降到 5 月時達到最小（約 0.12）在非 ENSO 年的可預報度的變化型態和全部年平均相當，但值稍微小於全部年平均，La Nina 年的可預報度在 8-12 月和前兩個時期相當，1-7 月的可預報度變化的曲線型態和前兩時期類似但值較高，El Nino 的可預報度極大值在出現在 1 月（約 0.61），除 8、9 月外可與報度都較其他三個時期高，8 月略低於 La Nina 年、9 月和 La Nina 年一樣。由圖 4-10 El Nino 和 La Nina 年的訊號與雜訊的變化來看，11-4 月間 El Nino 年有比 La Nina 年更明顯的訊

號存在，同時 La Nina 的雜訊卻比 El Nino 大，使得 11-4 月期間 El Nino 的可預報高於 La Nina。

CWB 模式：由圖 4-11 的全部年平均的 APC 來看，可預報度的變化在 8 月有極大值(約 0.27)後持續下降，到 3 月時達到最小(約 0.12)。在非 ENSO 年的可預報度的變化型態和全部年平均相當，但值稍微小於全部年平均。La Nina 年的可預報度 9 月有極大值(約 0.44)後，持續下降到 4 月時達到最小(約 0.1)接著就持續上昇。El Nino 的可預報度極大值在出現在 8、9 月(約 0.34)，極小值在出現在 12 月(約 0.15)。由圖 4-12 El Nino 和 La Nina 年的訊號與雜訊的變化來看，8-12 月間 La Nina 有比 El Nino 年更明顯的訊號存在，在這段期間這兩者的雜訊相當，所以 La Nina 有較高的可預報度，1 月以後 El Nino 有比 La Nina 更強訊號和較弱的雜訊存在，使得 El Nino 的可預報度比 La Nina 更高。

GFDL 模式：由圖 4-13 的全部年平均的 APC 來看，可預報度的變化在 8 月有極大值出現(約 0.33)，最小值在 3 月(約 0.21)。在非 ENSO 年的可預報度在 7-8 月時大小和全部年平均相當，其於月份變化型態和全部年平均類似但值略小，La Nina 年的可預報度 10 月有極大值(約 0.41)後，持續下降到 4 月時達到最小(約 0.2)接著就持續上昇。El Nino 的可預報度極大值在出現在 1 月(約 0.56)，極

小值在出現在 10 月(約 0.23)。由圖 4-14 顯示的 El Nino 和 La Nina 的訊號與雜訊的變化情形可以看出，在 9-11 月 La Nina 的訊號比 El Nino 更明顯，這段期間 La Nina 的雜訊也比 El Nino 小，所以 La Nina 的可預報度要高過 El Nino，其餘的月份 El Nino 的訊號比 La Nina 明顯，而雜訊則相當甚至更小的情況下 El Nino 的可預報度比 La Nina 的可預報度更高。

NCEP 模式：由圖 4-15 的全部年平均的 APC 來看，可預報度的變化在 1 月有極大值出現(約 0.28)，最小值在 5 月(約 0.16)。在非 ENSO 年的可預報度在 6-7 月時大小和全部年平均相當，其於月份變化型態和全部年平均類似但值略小，La Nina 年的可預報度 9 月有極大值(約 0.43)後，持續下降到 7 月時達到最小(約 0.14)。El Nino 的可預報度極大值在出現在 2 月(約 0.47)，極小值在出現在 11 月(約 0.24)。由圖 4-16 顯示的 El Nino 和 La Nina 的訊號與雜訊的變化情形來看，在 8-11 月期間 La Nina 的訊號比 El Nino 更明顯，這段期間 La Nina 的雜訊也比 El Nino 小，所以 La Nina 的可預報度要高過 El Nino，其餘的月份 El Nino 的訊號比 La Nina 明顯，而雜訊則相當甚至更小的情況下 El Nino 的可預報度比 La Nina 的可預報度更高。

綜合來看四個模式中，在全部年平均的 APC 來，CWB 模式和 GFDL

模式的極大值都出現在 8 月，ECHAM4 模式和 NCEP 模式則都出現在 1 月，極小值在 CWB 模式和 GFDL 模式出現在 3 月，ECHAM4 模式和 NCEP 模式則都出現在 5 月。在非 ENSO 年的可預報度大小和變化型態都和全部年平均類似但值略小。El Nino 和 La Nina 的訊號與雜訊的變化情形來說，El Nino 的訊號年在 8-10 月間在各個模式並未有較強的訊號，11 月起訊號快速增加使的可預報度在跟著急速增加，一般在 8-11 月 La Nina 的訊號和可預報度大多比 El Nino 大或相去不遠，在 12-7 月就明顯不如 El Nino。在 El Nino 年時台灣附近的雨量大都和氣候值相當或偏少，而 La Nina 年則降水量偏多，模式並未一致的反應出類似的型態，顯示亞洲夏季降水型態和太平洋上的海水驅動力的相關性較低 (Wu et al., 2003)。

4-3.3 Z500 高度場在 PNA 地區 ($20^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$; $180^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{W}$)

ECHAM4 模式：由圖 4-17 的 APC 來看，不論在任何時期都是由 8 月開始上升，最大值在 2 月、最小值在 8 月，一般而言以 El Nino 的可預報度最高 (約 0.62)，La Nina (約 0.48) 次之 (9-10 月 La Nina 的可預報度比 El Nino 的可預報度高)，最低的是非 ENSO 年的可預報度。由圖 4-18 的 El Nino 和 La Nina 的訊號與雜訊的變化來看，8-11 月間 El Nino 和 La Nina 的訊號及雜訊大小都相當，可預報度值也差不多，12 月以後雖然 El Nino 和 La Nina 的訊號差異不大下，La Nina

的雜訊明顯大過 El Nino，導致 La Nina 的可預報度明顯小於 El Nino。

CWB 模式：由圖 4-19 APC 的變化來看，全部年平均的可預報度整年變化不大，在非 ENSO 年在冬季的可預報度較低，其可預報度的大小僅在 7-8 月和全部年平均差不多，其餘月份都比全部年平均小。圖 4-20 的 El Nino 和 La Nina 的訊號與雜訊的變化情形可以看出，El Nino 和 La Nina 一整年的雜訊差不多，在 8-11 月 La Nina 的訊號大過 El Nino，La Nina 的可預報度也比 El Nino 大，12 月二者的訊號和可預報度都差不多，1 月後 El Nino 的訊號都比 La Nina 大。

GFDL 模式：由圖 4-21 的 APC 來看，不論任何時期在 8-11 月間的可預報度變化都不大，由 11 月可預報度值開始上升，最大值在 2、3 月，最小值每個曲線變化稍有出入，一般而言以 El Nino 的可預報度最高（約 0.43），La Nina（約 0.48）次之，最低的是非 ENSO 年的可預報度（約 0.03）。圖 4-22 的 El Nino 和 La Nina 的訊號與雜訊的變化情形可以看出，El Nino 和 La Nina 一整年的訊號大小變化差不多，只在 1-2 月份 El Nino 比 La Nina 大一點，而雜訊在 10-4 月 La Nina 都比 El Nino 大其他月份差異不大，值得注意的是在 10-11 月 El Nino 和 La Nina 的訊號大小變化差不多，La Nina 雜訊顯然比 El Nino 大很多，但是二者的可預報度卻差不多。

NCEP 模式：由圖 4-23 APC 的變化來看，不論在任何時期都是由

12月開始上升，最大值在2、3月、最小值較不一致，一般而言以El Nino 和La Nina的可預報度最大值差不多（約在2、3月的0.51），最低的是非ENSO年的10月的可預報度（約0.14）。全部年平均的可預報度最高在2月的0.28、最低在11月的0.16，非ENSO年的可預報度最高在2月的0.21，El Nino 和La Nina的可預報度的極小值出現的月份和大小就比較不一致，El Nino的可預報度最低在7月的0.17，La Nina的可預報度的極小值出現在2月的0.2。圖4-24的El Nino 和La Nina的訊號與雜訊的變化情形來看，在8月El Nino 和La Nina的訊號與雜訊大小和變化都差不多，可預報度的大小也差不多，在其他月份La Nina的訊號都比El Nino的訊號大，但在雜訊方面11月起La Nina的雜訊開始比El Nino大，因而影響到可預報度在2、3月時El Nino 和La Nina二者差不多，3月以後La Nina雜訊影響到可預報度比El Nino時小。

以上四個模式比較的結果，除了CWB模式外其餘三個模式的各個時期的可預報度極大值都落在2、3月間，極小值則較不一致。一般以El Nino的可預報度最高，La Nina（NCEP模式中和El Nino差不多）次之，最低的是非ENSO年的可預報度。全部年平均和El Nino年都在11、12月間可預報度值開始增大到2、3月間達到最大。在La Nina年和非ENSO年則較無一致性的變化。由El Nino 和La Nina

的訊號與雜訊的變化來說，只有在 NCEP 模式中 La Nina 的訊號始終大於 El Nino 的訊號，而雜訊也在大部分的月份比 El Nino 雜訊大，其他模式的 El Nino 的訊號都和 La Nina 的訊號相當或是更大，La Nina 的雜訊也都和 El Nino 的雜訊差不多或更大。由此可以知道在大部分的模式中（NCEP 模式除外）El Nino 的可預報度在大部分的月份都較 La Nina 的可預報度高。

在 Chen and Van Den Dool(1997)研究中指出，La Nina 的雜訊變化和本文中四個模式相類似，在 La Nina 也會產生春天預報障礙 (Spring Barrier)。模式 Z500 高度場在 PNA 區域的可預報度的差異在於雜訊的不同，雜訊是由系統內部動力過程的變化所產生，有較大能量變化時會產生較大的雜訊(Chen and Van Den Dool, 1999)，Chen and Van Den Dool(1995、1999)更指出造成 La Nina 期間的雜訊較 El Nino 雜訊大的原因在 La Nina 期間有較多的能量在不同時間尺度的流場中轉換的結果。

大體上所模擬的大氣訊號以 El Nino 最強，La Nina 次之，以可預報度而言在 El Nino 年的晚冬或初春最高，而 La Nina 年的可預報度在春天時會迅速下降到和平均年差不多稱為 Spring Barrier，主要是這時候的雜訊突然增大的結果。以地區而言不管哪個變數還是以熱帶地區的可預報度最高最明顯，PNA (Pacific-North American)

地區是熱帶外對 ENSO 作用力的典型的遙相關區域，赤道外在冬季和春季所出現較強的訊號似乎是熱帶-赤道外的內部動力互動的特色 (Kumar and Hoerling, 1998)。