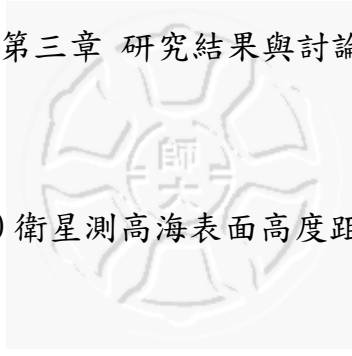


第三章 研究結果與討論



3.1 南海海盆的 AVISO 衛星測高海表面高度距平之變化分析

從早期的研究發現，南海海盆的流場是由東亞季風所驅動，因此整個南海海盆的海表面高度會隨著季風的風向而有所變化，並且在每年的八月左右形成具夏季代表性的海平面型態 (pattern)，十二月左右形成冬季代表性的海平面型態，下面就分別針對這兩種模式進行討論。

3.1.1 南海的夏季海平面型態

夏季海平面型態的主要特徵在於呂宋西北方外海的高海表面區，以及越南和馬來半島之間，泰國灣的低海表面區，除此之外，越南中心的外海處也存在一個低海表面區，隔開了海盆東北方的高海表面區以及越南和婆羅州之間，巽他陸棚的另一個高海表面區。因此，由越南外的低海表面以及巽他陸棚的高海表面所形成的偶極 (dipole) 現象，也是夏季海平面型態的另一個主要特徵 (Wyrтки, 1961; Shaw and Chao, 1994)。

圖 3-1 的 (A) 至 (J) 是使用 AVISO 衛星測高海表面高度距平的資料，選取 1993 年至 2002 年，每年八月間南海某一天所畫出來的海表面高度距平。因為每年八月間，南海海盆的西南季風達到最強盛，所以在本論文之中，選取八月的海表面高度分布來探討南海的夏季海平面型態。

在 1993 年八月的夏季海平面模式中 (圖 3-1 (A))，清楚的顯示了西南季風造成北邊海盆海水堆積的現象，越南中心外的低點分開了北海盆的高海平面區，而越南外海的偶極現象也可以看出，夏季的越南東南外海，確實存在著一股沿著反氣旋式環流 (anticyclonic gyre) 的北方邊界，向東流動的噴流，進而使得越南東南部的外海有湧升流現象出現。

1994 年八月的夏季海平面型態中 (圖 3-1 (B))，越南外海的低海表面區變得更深且廣，東南方反氣旋式的環流也因為明顯的海水面梯度的存在而有增強的趨勢，所以和 1993 年相比，1994 年越南外海的偶極現象更強，這也使得向東的噴流變得更強了。但是值得注意的是，原本佔據北邊海盆大範圍的高海表面區，在 1994 年的八月卻被侷限在呂宋西北方和中國大陸南方的海域。

由 1995 年八月的夏季海平面型態中 (圖 3-1 (C)) 可以發現，原本存在於越南外海的低海表面區移動到更北方的海域，而原本的低海

表面區則被南方的高海表面區所取代，但是和 1994 年八月相同，強偶極的現象依然存在，只是位置偏北了一點，這代表著越南外海夏季向北的沿岸流，到達比往年還要更北的地方才離岸形成向東的噴流，湧升流區也被侷限在 15°N , 113°E 的海域。另外，在呂宋西北方外海處約 18°N , 118°E 的海域，也出現了一個低海表面區，隔開了原本廣大的高海表面區。

1996 年八月的夏季海平面型態（圖 3-1 (D)）與 1993 年的相似，只是出現在越南中心外海處的低海表面區變小了，不過海盆北邊的高海表面區卻和南邊的高海表面區相結合，並且一直向南延伸到巽他陸棚。而隔年 1997 年八月的夏季海平面型態（圖 3-1 (E)）也與 1994 年的相似。

1998 年八月的夏季海平面型態（圖 3-1 (F)）中，整個北邊的深海盆區幾乎被高海表面區所佔據，越南外的低海表面區被侷限在 14°N , 110°E 的小範圍，海平面梯度也明顯的顯示出向東噴流的存在。

而剩下的四年裡，1999 年至 2002 年八月的夏季海平面型態（圖 3-1 (G) ~ (J)）中，海盆的北邊都大規模的被高海表面區所佔據，除了 2000 年之外，越南外海的反氣旋式環流也清楚的顯現在圖上，另外，2001 年越南外的低海表面區也和 1998 年的情形類似，被南北兩個高海表面區所限制在沿岸地區。

檢視 1993 年至 2002 年十年間南海的夏季海平面模式，可以歸納出一些共同的特徵。首先，夏季越南的外海確實存在兩個環流系統，北邊的氣旋式環流造成了越南東南外海的低海表面區，南邊的反氣旋式環流則在巽他陸棚以北造成了高海表面區，這兩個環流系統的邊界則共同形成了一股向東的噴流，使得夏季的越南外海有湧升流的現象，這都和早期的研究一致。不過值得注意的地方是，對照表 3-1 由中央氣象局的網頁所標定之聖嬰現象與反聖嬰現象後，可以發現南海的夏季海平面型態在年際間有顯著的變化，特別是在越南東南外海的低海表面區。

在 1995、1996、2001 這三年正常年的夏季海平面型態中，雖然 1995 年越南東南外海的低海表面區有偏北的情形，但還是可以發現，這三年越南東南外海的低海表面區，都被周圍較高的海表面區給侷限在一個小範圍的區域裡；而 1994、1997、2002 這三年聖嬰現象發生的夏季海平面型態中，越南東南外海的低海表面區則往中央以及北邊的海盆擴散，而北邊海盆的高海表面區則明顯的被侷限在呂宋的西北方海域；至於 1998 到 2000 年這三年反聖嬰現象發生期間的夏季海平面型態中，越南中心外海處的low海表面區並沒有明顯的改變，反而是北邊海盆的高海表面區和其他年份相比，明顯變的更廣且較高，幾乎佔據了整個南海的深海盆區。不過值得注意的地方是，雖然 2001 年

的八月並不在反聖嬰現象發生期間，但是北邊海盆的高海表面區依然佔據了大部份的範圍。

3.1.2 南海的冬季海平面型態

冬季海平面型態的主要特徵，在於呂宋西北方外海的低海表面區，以及越南和馬來半島之間的泰國灣和婆羅州延伸到巽他陸棚海域的高海表面區，除此之外，佔據北邊深海盆的低海表面區和南邊海盆巽他陸棚外的低海表面區所結合成的一個大的低海表面區，也是冬季海平面型態的另一個主要特徵(Wyrtki, 1961; Shaw and Chao, 1994)。

圖 3-2 的 (A) 至 (J) 是使用 AVISO 衛星測高海表面高度距平的資料，選取 1993 年至 2002 年，每年十二月間南海某一天所畫出來的海表面高度距平。因為每年十二月間，南海海盆的東北季風達到最強盛，所以在本論文之中，選取十二月的海表面高度分布來探討南海的冬季海平面型態。

在 1993 年十二月的冬季海平面型態中 (圖 3-2 (A))，清楚的顯示了東北季風在南邊的海盆所造成泰國灣以及巽他陸棚海水堆積的現象。另外，呂宋西北方外海與越南東南方外，兩個逆時鐘轉動的環流所結合成一個大的逆時鐘轉動的環流也清楚的顯現在圖中，而北邊

海盆的環流也使得呂宋西北方外海，在冬季的時候出現了湧升流；南邊海盆的環流則是強化了越南外海冬季向南的沿岸流，這些現象都和早期研究的結果相符合。

而 1994 年十二月的冬季海平面型態中（圖 3-2 (B)），越南東南方外，低海表面區的範圍比 1993 年還要來得小，微弱的逆時鐘轉動的環流也使得越南外海向南的沿岸流比 1993 年還要弱，雖然呂宋西北方外海的低海表面區依舊清楚的存在於圖中，然而這北邊的環流似乎也有減弱的趨勢，除此之外，越南中心外海所出現的微弱高海表面區，分開了南北海盆的低海表面區。

1995 年十二月的冬季海平面型態（圖 3-2 (C)）與 1993 年的相似，整個南海海盆被一個大的氣旋式環流系統所佔據，泰國灣的高海表面區則出現了大範圍的局部極大值。

至於 1996 年十二月的冬季海平面型態（圖 3-2 (D)）中，南北海盆的低海表面區被越南外微弱的高海表面區所隔開，這個微弱的高海表面區橫跨了中部的海盆；南邊的低海表面區則是往南擴散到巽他陸棚，北邊的低海表面區依然存在，不過值得注意的是，在台灣西南方的海域出現了小範圍局部極大值的高海表面區。

1997 年十二月的冬季海平面型態（圖 3-2 (E)）中，呂宋西北方局部極小值的低海表面區有北移的現象，除了越南中心外微弱的高海

表面區之外，南邊的海盆幾乎被微弱的低海表面區所覆蓋，和 1996 年相比，南邊的低海表面區的範圍更是到達巽他陸棚。

1998 年十二月的冬季海平面型態（圖 3-2 (F)）中，南北兩個氣旋式的環流呈現明顯的不對稱，和前幾年相比，北邊海盆的氣旋式環流有減弱的趨勢，而南邊海盆的氣旋式環流則佔據了越南外海的廣大區域，形成一大片的低海表面區。整個南邊的冬季海平面型態，除了在呂宋島西北方的外海之外，和 1993、1995 年的冬季海平面型態相似。

1999 年十二月的冬季海平面型態（圖 3-2 (G)）中，越南外海低海表面區的範圍變小了，這顯示出南邊海盆的氣旋式環流有減弱的趨勢。除此之外，海盆中間所出現微弱的高海表面區，也隔開了南北兩個氣旋式的環流。至於 2000 年十二月的冬季海平面型態（圖 3-2(H)）則與 1999 年的相似，但是越南東南外海的低海表面區則顯得更微弱一些了。

2001 年的冬季海平面型態（圖 3-2 (I)）則顯示了越南中心外海的高海表面區，分開了海盆北方和南方的低海表面區，而南邊海盆的氣旋式環流和前兩年類似，但是更微弱了。

2002 年的冬季海平面型態（圖 3-2 (J)）中，南邊海盆的氣旋式環流幾乎消失不見，整個海盆除了海南島北方及呂宋島西北方的外海

呈現氣旋式環流之外，都被高海表面給佔據。

檢視 1993 年至 2002 年十年間南海的冬季海平面型態，可以歸納出一些共同的特徵。冬季海平面型態主要是由呂宋西北方的氣旋式環流與越南東南方外海的氣旋式環流所共同組成，並且這兩個氣旋式環流在年際間各有消長，有時候甚至結合成為一個大的氣旋式環流，佔據整個南海的海盆；除此之外，北邊的氣旋式環流也為呂宋西北方外海帶來了湧升流，這和早期的研究結果相一致。對照表 3-1 由中央氣象局的網頁所標定之聖嬰現象與反聖嬰現象，可以發現南海的冬季海平面型態在年際間的一些變化情形。

在 1993、1996、2001 這三年正常年的冬季海平面模式中，大致上南北邊的氣旋式環流都很明顯，1993 年時，甚至還結合成為一個大的氣旋式環流，佔據了整個深海盆區；而 1994、1997、2002 這三年聖嬰現象發生時的冬季海平面型態中，越南東南方外海，南邊海盆的氣旋式環流都有減弱的現象，2002 年甚至幾乎完全消失不見。不過呂宋西北方外海，另一個氣旋式的環流，仍然明顯的存在於海盆的北邊；至於 1995、1998、1999、2000 這四年反聖嬰現象發生時的冬季海平面型態中，除了 1995 年微弱的反聖嬰現象使得海平面型態反而像正常年之外，其餘的年份裡，北邊海盆的氣旋式環流有減弱的趨勢，低海表面區所涵蓋的面積也比往年來得小，在 1999 和 2000 年時，

海盆的中間幾乎被高的海表面所佔據，不過南邊海盆的反氣旋式環流依然明顯的存在，只是和往年相比，越南東南方外海的低海表面區的範圍變小了。

3.2 南海海盆的 AVISO 海表面高度距平之經驗正交函數分析

將 1993 年至 2002 年 AVISO 的海表面高度距平做經驗正交函數分析之後，可以得到前兩個 Modes 分別佔了總變異量的 33% 以及 12%，共佔了所有變異量的 45%。由於第三個 Mode 僅佔了總變異量的 7%，而且並沒有明顯獨立的物理意義存在，故在此不予以討論，本論文只分別針對前兩個 Modes 所呈現出來的現象進行分析討論。

Mode 1 佔了總變異量的 33%，其空間與時間的分布如圖 3-3 所示，其中，圖 3-3 (A) 表示海表面高度距平隨空間變化的分布情況；圖 3-3 (B) 則表示振幅隨時間變化的情況。

於圖 3-3 (A) 中可以看出，在整個海盆西邊的大陸棚區有著同一個相位的振幅，尤其是在泰國灣、東京灣以及台灣海峽的一小部份陸棚區，振幅達到最大值，而越南和婆羅洲之間約 10°N ， 111°E 處以及呂宋島西北方外海處，則有著相反 180° 相位大的振幅中心出現，但是此一振幅小於西邊大陸棚區的振幅。因此，整個深海盆區除了菲律

賓西南方一小部份的區域以外，皆呈現同一個相位的振盪；而深海盆區之外，周圍靠近陸地的大陸棚區，則呈現了和深海盆區完全相反 180° 相位的振盪。另外，在海盆的西南邊，越南東南方外海的大陸棚區域，也可以看出有陡峭的振幅梯度存在。

於圖 3-3 (B) 中則可以看出，係數隨著每一年的時間序列上下起伏，在每年的八月左右遞減到負的極值，之後開始向上遞增，到了十月左右過了 0 線之後，係數開始變為正值，並且在十二月的時候達到正的極值，之後開始向下遞減，至隔年三、四月左右過了 0 線之後，係數又變為負值，在隔年的八月又達到負的極值，週期為一年左右。

將每一個 Mode 的振幅隨時間變化的係數，乘以其空間分布的情況，則可以得到該 Mode 所代表的空間隨時間變化的情形。因此，將圖 3-3 (B) 的係數乘以圖 3-3 (A) 的空間分布，就能夠得到 Mode 1 所支配的南海海表面高度隨時間變化的情形。

由於 Mode 1 的係數在每年夏季大約八月的時候達到負的極值，所以每年八月的時候，Mode 1 所支配之南海海盆的海表面高度在東半部的深海盆區達到最高，而西半部以及南半部的大陸棚區則降到最低；八月之後係數開始遞增，使得深海盆區的海表面高度開始降低，大陸棚區的海表面高度開始升高，到了十月左右係數為 0 的時候，整個南海海盆的海表面高度趨於一致；過了十月之後係數持續遞增，此

時南海海盆大陸棚區的海表面高度開始高於深海盆區，而在冬季十二月係數達到正的極值時，整個西半部的大陸棚區以及南半部巽他陸棚延伸到婆羅洲外海的海表面高度就達到最高點，而深海盆區的海表面高度則降到最低點；十二月之後的係數開始遞減，大陸棚區的海表面高度又開始降低，深海盆區的海表面高度也開始升高，至隔年的三、四月左右，係數又為 0 的時候，整個南海海盆的海表面高度又趨於一致；四月之後，係數持續遞減到八月負的極值，東半部深海盆區的海表面高度經過一年的時間之後又達到最高，完成了約一年週期的振盪。因此，Mode 1 所支配的是每年南海海盆東半部的深海盆區與西半部和南半部的大陸棚區不同相位的振盪，而且這個振盪呈現了季節性的變化，為南海海盆的海表面高度大致在夏季呈現東北高西南低，冬季呈現西南高東北低的主要原因。

檢視 Mode 1 每年的年週期振盪，可以發現此振盪和季風有密切的關係。在每年夏季八月的時候，南海海盆的西南季風達到最強，因此風將南海的海水集中在海盆東北部的深海盆區堆積，使海盆東北邊達到較高的海表面高度；冬季十二月的時候，海盆的風向轉變為東北季風，這時南海的海水則會在海盆西南部的大陸棚區堆積，較高的海表面高度也移轉到海盆的西南邊；至於三、四月間以及十月的南海海盆，由於正處於季風的轉向期間，因此也完全表現在 Mode 1 趨近於

0 的係數上面，在此期間，Mode 1 支配南海海盆海表面高度的影響就會降到最低，而由其他的 Mode 所支配。除此之外，越南東南邊外陡峭的振幅梯度，也使得越南外海的沿岸流呈現了季節性的變化，在夏季的時候往北流，冬季的時候往南流，這些現象都和早期的觀測結果相一致。而且冬季時深海盆區的低海表面高度，也說明了冬季時，南海表層逆時鐘轉動環流的存在。

除此之外，在圖 3-3 (B) 中所代表振幅隨時間變化的情形，也可以看出聖嬰現象對於南海海表面高度變化的影響。對照由中央氣象局所標定之聖嬰現象與反聖嬰現象所繪的表格 (表 3-1) 可以發現，在 1994 年和 1997 年聖嬰現象發生期間的冬季，Mode 1 十二月的係數比其他年的同時期還要小，這顯示了東北季風在聖嬰現象發生期間有減弱的趨勢，連帶使得南海海盆的環流跟著減弱，造成了西南邊海盆在冬天的海表面高度比其他年還要低，以及東北部深海盆區湧升流的減少或消失。

Mode 2 則佔了總變異量的 12%，其空間與時間的分布如圖 3-4 所示。由 Mode 2 的空間分布 (圖 3-4 (A)) 指出，除了越南和馬來半島之間的泰國灣以及越南東方外海的小範圍區域之外，整個海盆都是呈現相同相位的振盪，而振幅較大的區域在 115°E 以東的深海盆區以及中國大陸南方，介於台灣和海南島之間的大陸棚區。

由 Mode 2 的時間分布（圖 3-4 (b)）指出，最低的負值約出現在每年的三、四月之間，最高的正值則不一定出現在某個月份，但絕大多數都是落在八月、十月或十二月，每一年係數的振幅也都差不多，但是值得注意的地方在於係數的值在年際之間的變化。在 1994 和 1997 年裡，Mode 2 的係數值幾乎都落在 0 線以下；而在 1998 年八月至 2001 年四月之間，Mode 2 的係數值則落在 0 線以上；其餘的年份則是在 0 線的上下振盪，這樣的現象說明了 Mode 2 顯示了南海海盆在年際間的振盪，這點將在稍後會進行說明。

將 Mode 2 空間的分布乘以時間的分布之後可以發現，在每年東亞季風於三、四月以及十月轉換風向期間，也就是 Mode 1 的係數趨近於 0 的時候，Mode 2 支配了南海海盆的海表面高度。除了 1999 年至 2001 年這三年反聖嬰現象發生期間之外，在每年三、四月的時候，Mode 2 負的係數都造成了深海盆區低的海表面高度以及泰國灣和越南外一小部份海域高的海表面高度；而除了 1997 年聖嬰現象發生之外，每年十月正的係數則使海盆的海表面高度與三、四月相反，在深海盆區呈現較高的海表面，泰國灣和越南外一小部份海域呈現較低的海表面。

另外，對照表 3-1 也可以發現，Mode 2 顯示了上述所說的南海海盆在年際間的變化。在 1994 年和 1997 年聖嬰現象發生期間，Mode

Mode 2 的係數在十二月的時候會轉變為負值，造成 Mode 2 所支配的深海盆海表面高度變低，再加上 Mode 1 的係數十二月在深海盆區所造成的低海表面，使得南海的深海盆區在聖嬰現象發生期間，低海表面所涵蓋的範圍比正常年還要大。相反的情況則是出現在 1998 年至 2000 年這三年的十二月之中，在反聖嬰現象發生期間，Mode 2 的係數在十二月的時候轉變為正值，而且比正常年的十二月來得高，使得 Mode 2 所支配的深海盆海表面高度變得更高，此時，即使 Mode 1 仍於反聖嬰現象期間對深海盆造成更低的海表面高度，南海深海盆區的低海表面所涵蓋的範圍還是比正常年要來得小。

3.3 三維海洋環流數值模式的海表面高度距平之經驗正交函數分析

將 1993 年至 2002 年三維海洋環流數值模式的海表面高度距平做經驗正交函數分析之後，可以得到前三個 Modes 分別佔了總變異量的 38%、26% 以及 9%，共佔了總變異量的 73%。由於第四個 Mode 所佔的總變異量太小，而且並沒有明顯獨立的物理意義存在，故在此只分別對前三個 Modes 所呈現出來的現象進行分析討論。

Mode 1 佔了總變異量的 38%，其空間與時間的分布如圖 3-5 所示。由 Mode 1 的空間分布（圖 3-5 (A)）指出，在南海海盆的東北

方，呂宋島西北方外海處，有一個非常大的振幅，振幅的強度以 18° N, 118° E 的區域為圓心向外遞減，除了在 10° N, 112° E 的區域，海表面較無明顯的振盪之外，遞減至海盆中心約 14° N 以南， 113° E 以西，開始轉變為和東北方海盆相反 180° 相位的振幅，到了海盆的西方，從東京灣以南至越南沿岸，以及海盆的南方，婆羅洲北方外海的大陸棚海域，皆呈現了另一個相位最大的振幅。

由 Mode 1 的時間分布（圖 3-5 (b)）指出，Mode 1 的係數約在每年的八月左右達到正的極值，之後迅速下降，到十月左右過了 0 線後在十二月左右達到負的極值，之後再迅速上升，到隔年的四月左右過了 0 線後又在八月左右達到負的極值，整個振幅的振盪週期約為一年。

將 Mode 1 空間的分布乘以時間的分布之後可以發現，Mode 1 所支配之南海海盆的東北方，在每年夏季的八月左右，海表面高度達到一年之中的最高值；在每年冬季的十二月左右，降到一年之中的最低值。至於海盆西方大陸沿岸的大陸棚區以及海盆南方的大陸棚區，卻和海盆東北方的深海盆區呈現完全相反的振盪，其海表面高度在每年的八月左右降到一年之中的最低值；而在每年的十二月左右達到一年之中的最高值。另外，在每年的四月以及十月左右，因為 Mode 1 的係數趨近於 0，所以 Mode 1 對於整個海盆的海表面高度並沒有太大

的影響力。對照早期的研究結果來看，西南季風會造成南海海盆的海表面高度呈現東北高西南低，東北季風則會造成西南高東北低的相反情形，Mode 1 所顯現出來最主要的特徵為東亞季風對於南海海盆海表面高度變化的影響，並且是以東北部海盆為主要特徵的季節性振盪。

除此之外，Mode 1 在冬天時所造成的菲律賓西北方外海的低點，也顯示出了南海北邊海盆在冬季時的流場，存在著氣旋式反時鐘轉動的環流 (cyclonic gyre)，這個環流使得菲律賓西北方外海在冬天時會有湧升流的出現，此現象與 Shaw 等人 (1996) 所觀測到的結果相符。

另外，對照表 3-1 後可以發現，聖嬰現象對於 Mode 1 所支配的南海海盆海表面高度變化的影響。在 1997 年、2001 年以及 2002 年裡，Mode 1 係數之八月正的極值都比其他年來的低，其中 1997 年和 2002 年的八月是在聖嬰現象發生期間，因此聖嬰現象的發生使得夏季的季風有減弱的趨勢，也造成了南海海盆表層環流的減弱，當越南沿岸向東的噴流 (jet) 減弱時，意味著夏季出現在越南東方外海的湧升流也會跟著減弱，甚至消失。而 1995 年、1998 年以及 1999 年反聖嬰現象發生期間的冬季，Mode 1 係數之十二月負的極值都延後至隔年的一月左右出現，之後才快速地上升。

雖然 AVISO 實測資料的 Mode 1 與模式輸出資料的 Mode 1 所顯示的振盪，在空間的分布上不盡相同，但是兩個 Mode 1 在時間的分布上卻都明顯的顯示出季風對於南海海盆所造成的季節性振盪，因此表示東亞季風對於影響南海海盆海表面高度的變化，的確佔有相當重要的地位。

Mode 2 佔了總變異量的 26%，其空間與時間的分布如圖 3-6 所示。由 Mode 2 的空間分布（圖 3-6 (A)）指出，在海盆的中間，越南東方的外海處，有一個明顯大的振幅存在，振幅的強度以 14°N ， 112°E 的區域為圓心向外遞減，約至 17°N 以北的中國大陸南方沿岸的大陸棚區，以及 11°N 以南的巽他陸棚至婆羅洲北方外海的大陸棚區，就開始轉變為另一種和中間海盆相反 180° 相位的振幅。

時間的分布（圖 3-6 (B)）則指出，Mode 2 的係數在每年的四月左右為正的極值，負的極值則落在八月或十二月左右。對照表 3-1 可以發現，在 1994 年、1997 年以及 2002 年聖嬰現象發生期間，負的極值會由原本的十二月提前至八月出現，其他年份則還是維持在十二月左右，這點將在稍後會進行說明。另外，在 1999 年四月至 2001 年八月期間，Mode 2 的係數都比往年還要小很多，而且在期間的八月以及十二月都產生了負的極值。由於 1998 年七月至 2001 年二月為反聖嬰現象發生的時期，因此 Mode 2 的係數在這段時間變小以及在

八、十二月這兩個月都產生了負的極小值，都似乎和反聖嬰現象的發生有連帶的關係存在。

將 Mode 2 空間的分布乘以時間的分布之後可以發現，Mode 2 所支配的是越南外海，中間海盆的振盪。也就是說，Mode 2 所貢獻的中間海盆的海表面高度，在每年的四月左右會達到一年之中的最高點，在每年的八月或十二月左右則降到一年之中的最低點。而除了中間海盆之外，南北大陸棚區以及菲律賓外海向西南延伸至婆羅洲外海的海域，呈現了和中間海盆振幅相反 180° 的振盪，其海表面高度在每年的四月左右降到最低點，在每年的八月或十二月左右則升至最高點。由於每年的四月以及十月是季風轉換的時期，所以 Mode 1 的係數在此時都小到趨近於 0，因此在每年的四月以及十月左右，越南外海中間海盆的海表面高度就會由 Mode 2 的型態所支配，在四月的時候，造成越南外海有高的海表面高度，但是在十月的時候，則有低的海表面高度。

另外，上述所提到的，在 1994 年、1997 年以及 2002 年聖嬰現象發生期間，Mode 2 所支配的中間海盆的海表面高度降到最低點的時分，就會由原本的十二月提早到八月，如此一來，在越南東方外海處就會產生低的海表面，再加上另一個 Mode 1 的係數在八月的時候，對海盆越南沿岸以及南邊婆羅洲外的大陸棚區所造成的低海表面，那

麼這前兩個 Mode 的夏季型態，就會使得聖嬰現象發生期間的八月，在越南外海的中間海盆以及南邊大陸棚區的海盆，皆呈現較低的海表面高度。但是值得注意的是，因為 Mode 2 同樣也讓南邊婆羅洲外的大陸棚區的海表面升高，所以在南邊海盆的低海表面高度和正常年相比，還是會比正常年來得高一些。而冬季十二月的時候，Mode 2 的係數已經快速的遞增到 0 線的附近，使得 Mode 2 對於海盆的影響力降到最低，因此冬季十二月時，整個南海海盆的海表面高度幾乎就由其他 Modes 所支配。

而 Mode 2 在正常年間的十二月所造成的越南東方外海處的低海表面，則與 Mode 1 在十二月所造成的菲律賓西北方外海處的低海表面，在南海的深海盆區形成一個大範圍的低海表面區，但是 Mode 2 同樣也強化了 Mode 1 在越南沿岸以及南邊海盆的巽他陸棚至婆羅洲的外海所形成的高海表面高度。

至於 Mode 2 在反聖嬰現象期間的變化，可以從係數的值看出來。在這段時間裡，Mode 2 的係數在八月以及十二月都出現了較小的負的極值，因此不同於其他的年份，在反聖嬰現象發生期間，越南東方外海在八月以及十二月都會出現低海表面高度，但是這低海表面區比其他年還要來得微弱。也就是說，Mode 2 在八月較小的負的極值，會使得南海海盆在夏季反聖嬰現象發生期間，也會和聖嬰現象發生期

間一樣，在越南東方外海存在弱的低海表面高度，但是較淺於聖嬰現象期間所造成之低海表面，然而這較弱的低海表面仍然會與 Mode 1 在八月對海盆越南沿岸，以及南邊婆羅洲外的大陸棚區所造成的低海表面相結合，使得越南外海的中間海盆以及南邊的海盆呈現低海表面區；而 Mode 2 在十二月較小的負的極值，則會使得南海海盆在冬季反聖嬰現象發生期間的海表面型態，與正常年間冬季的海表面型態相似，只不過越南東方外海的低海表面區減弱，以及海盆南邊大陸棚區被強化的海表面高度減少而已。

因此，Mode 2 所顯示的主要特徵，除了在季風轉換期間，支配著南海中間海盆的海表面高度變化之外，也顯示了受到聖嬰現象的影響之下所產生的年際間的變化。

Mode 3 佔了總變異量的 9%，其空間與時間的分布如圖 3-7 所示。由 Mode 3 的空間分布（圖 3-7 (A)）指出，在海盆的西南邊，越南東南方外海處，有一個明顯大的振幅存在，振幅的強度以 10°N ， 111°E 的區域為圓心向外遞減；而在北邊的海盆，台灣和海南島之間的大陸棚區海域，則存在著相同相位，但是強度較弱的振幅。至於菲律賓西南方外海向南延伸到婆羅洲外海的海域，則是呈現和西南邊海盆以及北邊海盆相反 180° 相位的振幅。

時間的分布（圖 3-7 (B)）上，振幅並沒有呈現明顯的週期性變

化，但是在對照 表 3-1 後可以發現，Mode 3 的係數，在聖嬰現象發生期間，會在 0 線以下，呈現負值；而在反聖嬰現象發生期間，會在 0 線以上，呈現正值；正常年的時候，係數則會在 0 線上下的正負值之間振盪。所以可以推測 Mode 3 所支配的南海海盆的振盪，可能和聖嬰現象的發生與否有關。

將 Mode 3 空間的分布乘以時間的分布之後可以發現，正常年期間，由於係數在正負值之間擺盪，所以 Mode 3 所主導之南邊海盆的海表面高度，會呈現東西振盪的現象。不過在聖嬰現象發生期間，由於係數為負值，所以即使越南東南方外海以及菲律賓西南方外海的海表面高度會隨時間的分布而有所增減，但是 Mode 3 所支配的越南東南方外海的海表面高度，在聖嬰現象發生期間，一定會高於菲律賓西南方外海，在南邊的海盆形成西高東低；而在反聖嬰現象發生期間，由於係數轉為正值，所以 Mode 3 所支配的越南東南方外海的海表面高度，在此時反而低於菲律賓西南方外海，於南邊的海盆形成東高西低。

圖 3-8 的 (A) 至 (J) 是使用三維海洋環流數值模式，選取 1993 年至 2002 年每年八月間，和圖 3-1 相同的日期所畫出來的海表面高度距平。在 1994、1997 以及 2002 這三年聖嬰現象發生期間的八月，Mode 2 係數負的極值由每年的十二月提前到八月出現，使得越南東

南外海提早出現了低的海表面高度，對照圖 3-1 聖嬰現象發生的時間（圖 3-1 的、(B)、(E)、(J)），越南東南外海的大範圍低海表面高度都有模擬出來（圖 3-8 的、(B)、(E)、(J)）。另外，1997 年以及 2002 年 Mode 2 負的的係數在八月的時候比其他年還要弱的現象，也反映在越南北邊的外海；而 1994 年較大的 Mode 1 與 Mode 2 的係數則一起造成了越南外海的大範圍低海表面區。至於 Mode 3 在聖嬰現象發生期間為負的係數，造成了越南東南方外海有局部高海表面區出現的現象，也同樣出現在圖 3-1 與 3-8 中。

在 1998 到 2000 年中間的八月，Mode 1 的係數比其他年來得大，所以造成呂宋西北外海的高海表面區比其他年來得高（圖 3-8 的 (F)、(G)、(H)），而 1999 年，越南東南邊外海的高海表面區也由模式 Mode 3 負的係數模擬出現。不過模式在反聖嬰現象發生期間，對於在越南中心外海出現的低點，模擬的並不明顯，1999 年與 2000 年比實測的資料（圖 3-1 的 (G)、(H)）還要弱，1998 年的低點（圖 3-1 (F)）甚至沒有出現在模式之中。

在 1995、1996 與 2001 年裡，模式 Mode 3 的係數在八月的時候幾乎為零，而且 Mode 2 的係數在 1995 和 1996 年裡的八月也近乎等於零，只有在 2001 年的時候為正值，所以由模式所顯現出來的結果，在 1995 年與 1996 年間，南海八月的海表面高度幾乎是由 Mode 1 所

控制的，但是這樣的結果和觀測的資料（圖 3-1 的 (C)、(D)）並沒有完全相同，而且和 2001 年的觀測資料（圖 3-1 (I)）相比較，越南中心外的低海表面高度消失了。

圖 3-9 的 (A) 至 (J) 也是使用三維海洋環流數值模式，選取 1993 年至 2002 年每年十二月間，和圖 3-2 相同的日期所畫出來的海表面高度距平。在 1994、1997 以及 2002 這三年聖嬰現象發生期間的十二月，由於 Mode 2 係數負的極值提前至八月出現，十二月的時候又回到接近零左右，因此聖嬰現象期間，南海海表面高度幾乎主要是由 Mode 1 和 Mode 3 所共同組成的。其中，Mode 1 負的係數造成了呂宋西北外海的低海表面區，而在聖嬰現象發生期間，Mode 3 全為負的係數也造成了越南東南方外海的高海表面區以及呂宋西邊沿岸的低海表面區。比較模式和實測的資料，1994 年呂宋西北外海的低海表面區以及越南外海弱的低海表面區（圖 3-9 (B) 和 3-2 (B)）都有被模擬出來；但是 1997 年（圖 3-9 (E)）模式上，越南外海弱的低海表面區（圖 3-2 (E)）並沒有顯現出來；2002 年模式上（圖 3-9 (J)），呂宋西北外海的低海表面區也被侷限在一個小範圍的區域內，和觀測的資料（圖 3-2 (J)）並不相似。

1995、1998 至 2000 這四年反聖嬰現象發生期間的十二月，Mode 1 負的係數比其他年來得小，在 1998 年甚至不到 -0.05；Mode 2 負的

係數在 1995 和 1998 年較大，但是在 1999 和 2000 年較小；Mode 3 在反聖嬰現象期間之正的係數造成了越南東南方有低海表面區，呂宋西邊沿岸有高海表面區。綜上所述，Mode 2 以及 Mode 3 形成了越南外海大範圍的低海表面區，所以 Mode 2 在 1995 年和 1998 年較大的係數造成了低海表面區範圍較大（圖 3-9 的 (C) 和 (F)），在觀測資料上（圖 3-2 的 (C) 和 (F)）也出現了相同的特徵；而 Mode 2 在 1999 和 2000 年較小的係數則使得越南外海的低海表面區範圍變小，這樣的結果並沒有顯現在模式的圖上（圖 3-9 的 (G) 和 (H)），但是卻出現在觀測資料上（圖 3-2 的 (C) 和 (F)）。

至於在 1993、1996 以及 2001 這三年正常年的十二月裡，大致上三個 Mode 的係數分別造成了海盆的北、中、南都呈現低海表面高度，使得整個南海海盆在冬季十二月的時候，呈現一個大的低海表面區。不過 Mode 3 在 2001 年十二月的係數為負值，這使得 Mode 3 所支配的越南東南方外海的低海表面區轉變成為高海表面，減弱了原本佔據整個南海海盆的一大片低海表面。比較模式（圖 3-9 的 (A)、(D) 和 (I)）與觀測資料（圖 3-2 的 (A)、(D) 和 (I)）的圖，2001 年越南東南方外海微弱的低海表面區並沒有被模擬出來。

大致來說，三維海洋環流數值模式在夏季與冬季所模擬出來的海表面高度場的變化，都可以和 AVISO 衛星所觀測到的特徵相符合，不過在

海表面高度距平上，模式結果比觀測資料少了約 10~15 公分，這有可能是模式所輸出的資料和 AVISO 的觀測資料，在處理上不盡相同所致。