

臺灣冬季氣候變化與全球海表面溫度的關係

劉品誼 盧孟明
中央氣象局氣象科技研究中心

摘要

海洋是影響氣候變化最重要的因素，本文主要透過經驗正交函數(EOF)方法求得冬季全球海表面溫度特徵，並以此為基礎分析臺灣冬季氣候變化與海表面溫度變化的關係。利用 ERSST 的月資料分析 1981-2015 年冬季(DJF)海表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)特徵發現，全球 SST 有 3 個主要模態，共佔約 55%總變異量。EOF1 為類似聖嬰現象的年際變化模態，空間分布上赤道中東太平洋、熱帶印度洋 SST 變化與對稱赤道於太平洋呈 C 字型橫跨南北半球區域 SST 變化為相反相位。EOF2 為上升趨勢模態，1997 年前北美洲西方海域與冷舌 SST 偏暖，1998 年後偏冷；而全球其他區域 SST 則於 1997 年前偏冷，1998 年後偏暖。EOF3 為年際變化，空間分布為東南亞沿岸往東延伸至中太平洋區域、東南太平洋 SST 變化與印度洋、西南太平洋、北太平洋呈反 C 字型區域 SST 變化為相反相位。

為了解臺灣鄰近海洋表面溫度變化和全球氣候的關係，首先針對亞洲-澳洲-印度洋-西太平洋區域(40°S-40°N, 40°E-180, AAIOWP) SST 做經驗正交函數(EOF)分解，並以相關方法分析 AAIOWP SST 與全球 SST 的關聯性。結果顯示 AAIOWP SST 有 3 個主要模態，共佔約 53%總變異量；在 3 個主要的模態中，EOF1 與全球 SST EOF2 為顯著正相關，EOF2 與全球 SST EOF1 為顯著負相關，EOF3 與全球 SST EOF3 為顯著負相關；表示 AAIOWP 區域的北半球冬季 SST 變化是全球 SST 主要變化的區域表現。

接著利用迴歸方法分析 AAIOWP SST 對近地表大氣溫度、雨量、海平面氣壓、500 hPa 高度場、以及 925 hPa 和 200 hPa 風場等氣候因子的影響，挑選出在臺灣附近(20°N-30°N, 110°E-130°E)通過 95%顯著性統計檢驗的結果，作為大尺度氣候變化對臺灣有顯著影響的代表。最後再以相關分析驗證臺灣區域(21.25°N-26.25°N, 118.75°E-123.75°E)大氣溫度、雨量、低層風速與 AAIOWP SST 各模態的關係。結果顯示臺灣 T2m、雨量、低層風場明顯受 SST 的三個主模態(EOF1-3)影響，SLP 受 EOF1 與 EOF2 影響，而 500hPa 高度場、200hPa 風場則分別僅受 EOF1、EOF2 影響。若利用相關方法分析臺灣區域平均氣候因子與各模態的關係發現，EOF1 與臺灣大氣溫度關係較好(0.54)，EOF3 與臺灣雨量有較好的關係(-0.37)，而 EOF2 則與臺灣低層風速相關性最好(-0.7)，這些關係表示臺灣氣候變化與全球及區域海溫的主模態變化息息相關，了解海溫對東亞氣候的影響不但有助於了解過去，也是估未來氣候變化的重要關鍵。

一、前言

海洋是影響全球大氣氣候變化最重要的因子。為了解全球海溫變化對臺灣冬季氣候的影響，本文以全球海表面溫度變化的主要氣候模態為主軸，分析臺灣附近區域海溫變化與主模態的關係，再進一步探討這些海溫變化如何影響臺灣冬季的溫度、雨量、風。

二、資料

本文的分析時間為 1981-2015 年，以前一年 12 月至當年 2 月定義為冬季(DJF, December-February)，因此分析期間共有 34 個冬季。

使用的海表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)資料為 NOAA ERSST v4 (Extended Reconstructed Sea

Surface Temperature version 4)(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v4.html>)，空間經緯解析度為 2 度，總共有 180x89 個格點。雨量資料為 GPCP(Global Precipitation Climatology Project)(<http://precip.gsfc.nasa.gov/>)，經緯解析度為 2.5 度，共有 144x72 格點。大尺度環流場使用的資料則為 ERA Interim(<http://www.ecmwf.int/en/elibrary/8174-era-interim-archive-version-20>)，經緯解析度為 0.75 度，共有 480x241 格點。

三、研究結果

3.1 全球海表面溫度特徵

以經驗正交函數方法(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析 1981-2015 年 DJF SST 發現前 3 個

模態變異量分別為 32.64%、14.21%、7.74%，共佔約 55%的總變異量(圖 1)。

在 EOF1(圖 3Aa)的太平洋 SST 不論是在中高緯或熱帶赤道區域都呈現東西部距平符號相反的特性，正相位時有正距平位於西太平洋呈 C 字型對稱於赤道跨越南北半球的區域，負距平位於赤道中東太平洋並南北沿伸至北美洲與南美洲西部沿岸；此外，澳洲西部沿岸、大西洋的熱帶地區以及中高緯度地區也都是正距平，印度洋、副熱帶大西洋則為負距平。熱帶地區 SST 與聖嬰-南方震盪(ENSO, El Niño Southern Oscillation)的 SST 變化相似(Wang et al. 2000)，從主成分時間序列(Principal Component, PC)(圖 3Ba)可見最大負距平出現在 1983、1998 冬季，為著名的強聖嬰年，而最大正距平出現在 1989、2000、2011 冬季，為反聖嬰年。

EOF2 (圖 3Ab)顯示北美洲及南美洲西方海域與全球其他區域 SST 變化呈相反相位，PC 則呈現上升變化趨勢(圖 3Bb)，1997 年以前為負相位，1998 年以後為正相位，表示 1997 年前(後)印度洋、西太平洋、赤道東太平洋、大西洋 SST 偏冷(暖)，但北美洲及南美洲西方海域則偏暖(冷)。

EOF3 PC(圖 3Bc)有周期約 1-5 年的變化，空間方面(圖 3Ac)的主要變化出現在東印度洋與太平洋，正距平從東南亞及澳洲西方的東印度洋一帶往東北延伸至北太平洋中部區域，而東南太平洋(冷舌)區域也是正距平；負距平在北太平洋呈反 C 字型分布並延伸至赤道以南的西南太平洋區域。

3.2 影響臺灣及鄰近區域的氣候因素

為了解臺灣鄰近海洋表面溫度變化和全球氣候的關係，接下來分析亞洲-澳洲-印度洋-西太平洋(40°S-40°N, 40°E-180，以下簡稱 AAIOWP)區域的 SST 主要變化模態，並利用相關係數法分析 AAIOWP 與全球 SST 主要模態的關係。

AAIOWP SST 的前 3 個模態變異量分別為 25.42%、17.55%、9.68%，共佔約 53%的總變異量(圖 2)。AAIOWP SST EOF1 的 PC 表現出 1998 年前後相位改變的特徵(圖 4Ba)，而在空間特徵方面(圖 4Aa)表現出整個 AAIOWP 區域 SST 距平符號相同，只有東經 160-

180 度的赤道地區符號相反，表示 AAIOWP 區域 SST 在 1998 年之後比之前溫暖。AAIOWP SST EOF2 的空間特徵為印度洋、熱帶中太平洋、西北太平洋的變化和澳洲西部沿岸、太平洋對稱赤道呈 C 字型的區域相位相反(圖 4Ab)，而 PC 則表現出頻率較高的變化(圖 4Bb)。AAIOWP SST EOF3 與 AO 指數(http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/a.o.shtml)作相關分析發現相關值為 0.58(通過統計檢定)，這表示 EOF3 為 AO 模態。空間特徵為西印度洋以及北緯 20 度以南的西太平洋和從澳洲西部沿岸往北延伸至南海、臺灣與日本東北方的海域有反相位的變化關係(圖 4Ac)，PC 也表現出比較頻繁的變化(圖 4Bc)；在 PC 為正相位時，臺灣四周 SST 皆為偏冷。

AAIOWP 與全球 SST 主要模態的相關係數整理在表 1，看到 AAIOWP 的 EOF1 和全球 EOF2 的相關係數高達 0.93，比較兩個 PC(圖 3Bb，圖 4Ba)可見二者都有 1998 年前後變號的特徵，表示全球 SST 的 EOF2 是 AAIOWP 區域 SST 變化的最主要模態。AAIOWP 的 EOF2 與全球 SST EOF1 PC 相關係數也非常高(-0.83)，比較二者的空間和時間特性看到全球 SST 的 EOF1 正是 AAIOWP 的 EOF2，顯示全球 SST 的主要變化和 AAIOWP 區域 SST 變化有明顯關聯。AAIOWP 的 EOF3 和全球 EOF3 的 PC 相關係數為 -0.71，在 AAIOWP 區域的空間特徵極為相似，同樣顯示出 AAIOWP 區域的北半球冬季 SST 變化是全球 SST 主要變化的區域表現。

為進一步了解 SST 對於近地表大氣溫度(2 meters Temperature, T2m)、雨量、海平面氣壓(SLP)、500 hPa 高度場、以及低層(925 hPa)和高層(200 hPa)風場等氣候因子的影響，接下來將各氣候因子對 AAIOWP 的 SST PC 進行迴歸分析，挑選出在臺灣附近(20°N-30°N, 110°E-130°E)通過 95% 顯著性統計檢驗的結果(表 2)，作為大尺度氣候變化對臺灣有顯著影響的代表。表 2 可見臺灣 T2m、雨量、低層風場明顯受 SST 的三個主模態(EOF1-3)影響，SLP 受 EOF1 與 EOF2 影響，而 500hPa 高度場、高層風場則分別僅受 EOF1 與 EOF2 影響。

在 AAIOWP SST EOF1 中，當西太平洋與印度洋 SST 偏暖時，東亞與西北太平洋區域在北緯 40 度以南

T2m 顯著偏暖，臺灣位於偏暖的區域內(圖 5a)。此外，東亞內陸至蘇門答臘雨量從北到南呈正負正分布，而西北太平洋、臺灣雨量則無明顯變化(圖 5b)。AAIOWP SST EOF2 顯示，當赤道西太平洋 SST 偏冷，印度洋及東亞沿岸偏暖時，赤道中東太平洋與熱帶印度洋 T2m 顯著偏暖，菲律賓東方海域往東北延伸至中太平洋 T2m 顯著偏冷；而臺灣、日本 T2m 也顯著偏暖(圖 6a)。雨量方面，菲律賓、南海、海洋大陸群島顯著偏乾，臺灣附近偏濕，北方有東北-西南走向的顯著雨帶(圖 6b)。在 AAIOWP SST EOF3，赤道西太平洋 T2m 偏暖，雨量偏多，與該區 SST 偏暖一致；此外，東南亞內陸與其東方海域 T2m 為顯著偏暖與偏冷的對稱分布，而臺灣位於偏冷的區域內(圖 7a)；雨量部分，東南亞往東北延伸至日本東方一帶偏乾，且臺灣有出現顯著訊號(圖 7b)。

對照圖 8 至圖 10 與圖 5 至圖 7 來看，可見 SST 的 EOF1 在西太平洋與印度洋 SST 偏暖時，東南亞至蘇門答臘 SLP 為顯著的異常上升運動(圖 8a)，南海出現西南風分量，南亞、東南亞一帶中層大氣為顯著的高壓距平(圖 8b)，而高層大氣的東亞西風噴流位置偏北(圖 8c)；上述的大氣環流結構與臺灣、東南亞、海洋大陸群島、西北太平洋 T2m 偏暖一致，顯示東北季風減弱，且東南亞至蘇門答臘的低壓距平(圖 8a)也可能與孟加拉灣、中南半島及南海雨量偏多有關。

AAIOWP SST 的 EOF2 在熱帶地區反映出類似 ENSO 的分布，當赤道西太平洋 SST 偏冷時，該區 SLP 為顯著的異常下沉運動(圖 9a)，海洋大陸群島 SLP 為顯著的高壓距平，而從低層風場可見東南亞沿岸有顯著的西南風分量，表示熱帶地區的暖濕空氣較容易往北傳輸；且日本上空的高壓距平(圖 9b)以及高層西風噴流減弱(圖 9c)皆代表東北季風減弱，因此臺灣、日本 T2m 顯著偏暖；而因菲律賓與東亞的區域性南北向大氣環流結構，在臺灣北方出現顯著的東北-西南走向雨帶(Chou et al.2009)。

AAIOWP SST 的 EOF3 在赤道西太平洋 SST 偏暖時，該區 SLP 為顯著的異常上升運動(圖 10a)，其低層風場的西風分量，加強大氣輻合，因此赤道西太平洋雨量偏多。此外，在高層大氣中(圖 10c)東亞西風噴流位置偏東南方，表示北方的鋒面系統減弱，再加上

低層風場顯示東南亞無南風分量，表示東北季風較弱，中國東南部 T2m 偏高，且臺灣、東南亞的雨量偏少。另一方面，東亞東方海域 T2m 偏冷和該區 SST 偏冷有關，這可能為區域性的變化。

3.3 綜合討論

將臺灣區域(21.25°N-26.25°N, 118.75°E- 123.75°E)平均氣候因子與 AAIOWP SST PC 的關係整理在表 3，顯示 EOF3 和臺灣雨量相關性最好，相關係數達-0.37；EOF1 與臺灣 T2m 相關性最好，相關係數為 0.54。EOF2 則與臺灣附近低層風速相關性最好，相關係數性達-0.7。這些關係表示臺灣氣候變化與全球及區域海溫的主模態變化息息相關，了解海溫對東亞氣候的影響不但有助於了解過去，也是估未來氣候變化的重要關鍵。

四、未來工作

透過以上的分析了解臺灣氣候與全球和區域 SST 的關聯性，接下來將利用 IPCC/CMIP5 全球氣候模式分析全球 SST 未來的變化以及對臺灣氣候的影響，進而推估臺灣未來的氣候變化。

五、參考資料

- Chou, C., L.-F. Huang, J.-Y. Tu, L. Tseng, and Y.-C. Hsueh, 2009: El Niño impacts on precipitation in the western North Pacific–East Asian sector. *J. Climate*, **22**, 2039–2057.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian Climate? *J. Climate*, **13**, 1517-1536.

表 1. 北半球冬季 AAIOWP SST 的 EOF 主成分時間序列與全球 SST 的 EOF 主成分時間序列相關係數。綠色表示通過 95%統計檢定，黃色則表示 99%。

AAIOWP	EOF1	EOF2	EOF3
G-EOF1	0.23	-0.83	0.10
G-EOF2	0.93	0.23	0.13
G-EOF3	0.13	-0.24	-0.71

表 2. 各氣候因子對 AAIOWP 的 SST PC 進行迴歸分析，陰影表示氣候因子在臺灣附近(20°N-30°N, 110°E-130°E)有通過 95% 顯著性訊號。

	T2m	Rainfall	MSLP	925hPa Wind	500hPa H	200hPa U-wind
AAIOWP EOF1						
AAIOWP EOF2						
AAIOWP EOF3						

表 3. 北半球冬季 AAIOWP 的 SST 主成分時間序列與臺灣區域(21.25°N-26.25°N, 118.75°E- 123.75°E)平均 T2m、雨量、925hPa 風速的相關係數。綠色表示通過 95%統計檢定，黃色則表示 99%。

AAIOWP	EOF1	EOF2	EOF3
T-Rain	0.02	0.26	-0.37
T-T2m	0.54	0.31	-0.23
T-925W	0.01	-0.70	-0.07

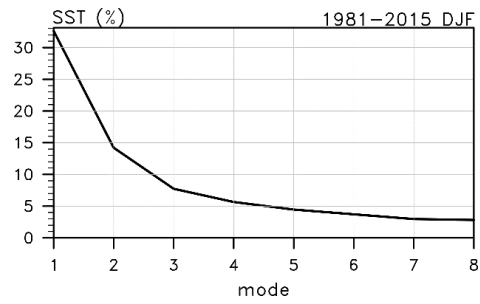


圖 1. 北半球冬季全球 SST EOF 的變異量百分比。單位：%。

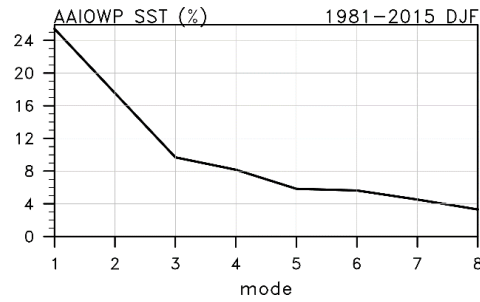


圖 2. 同圖 1，但為 AAIOWP SST。

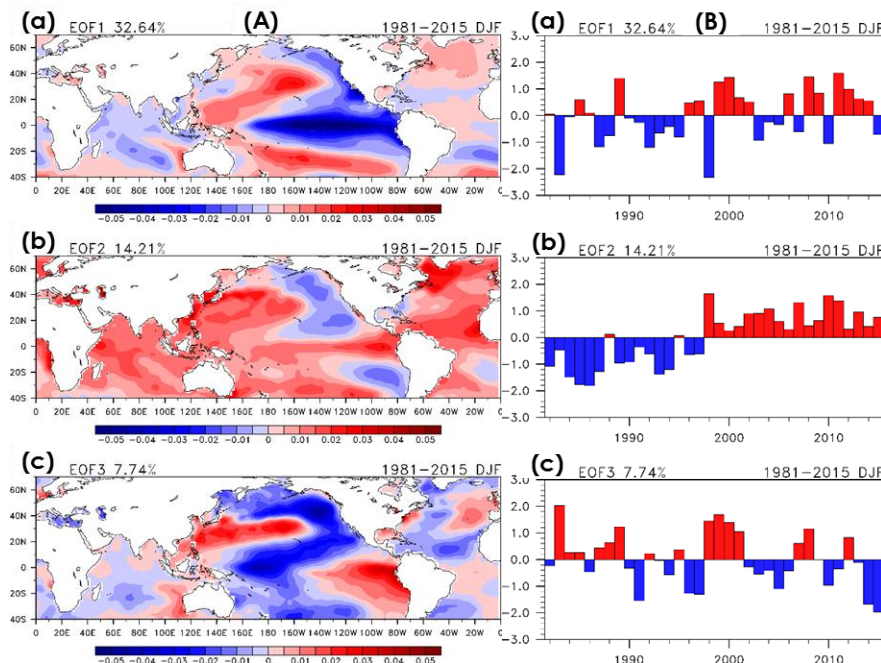


圖 3. 北半球冬季全球 SST EOF。(A)為空間分布，(B)為時間序列。(a) EOF1、(b) EOF2、(c) EOF3。

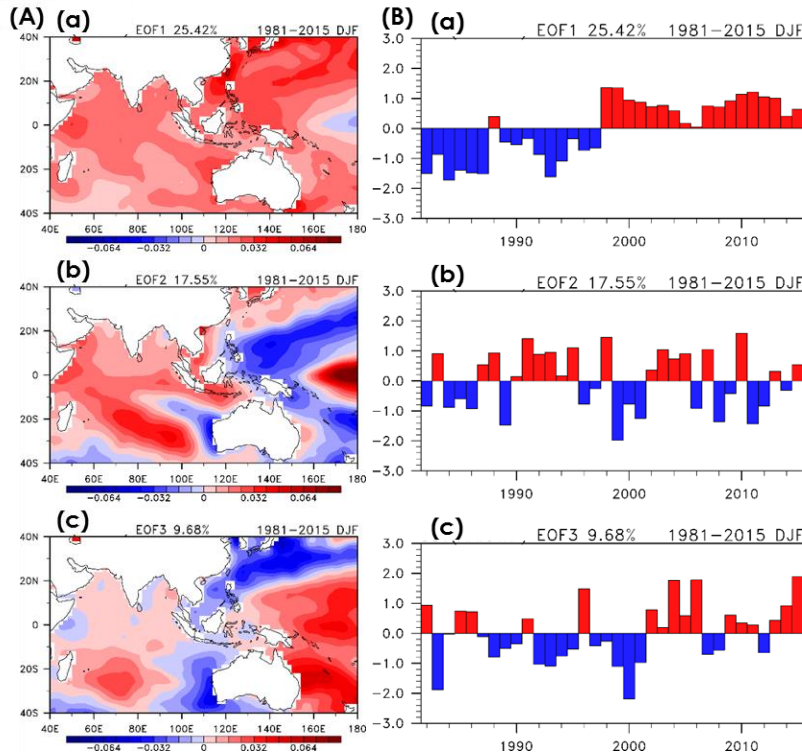


圖 4. 同圖 3，但為北半球冬季 AAIOWP SST EOF。

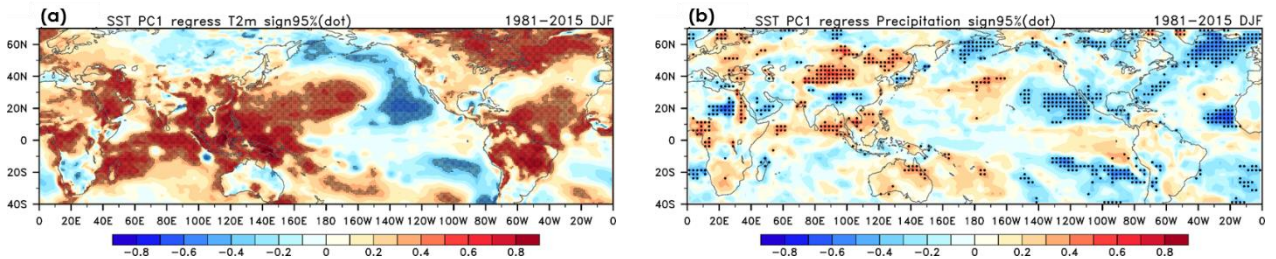


圖 5. 北半球冬季 AAIOWP SST EOF1 的主成分時間序列對 (a) 近地表大氣溫度、(b) 雨量變化的迴歸係數。打點表示該值超過 95% 統計檢定。

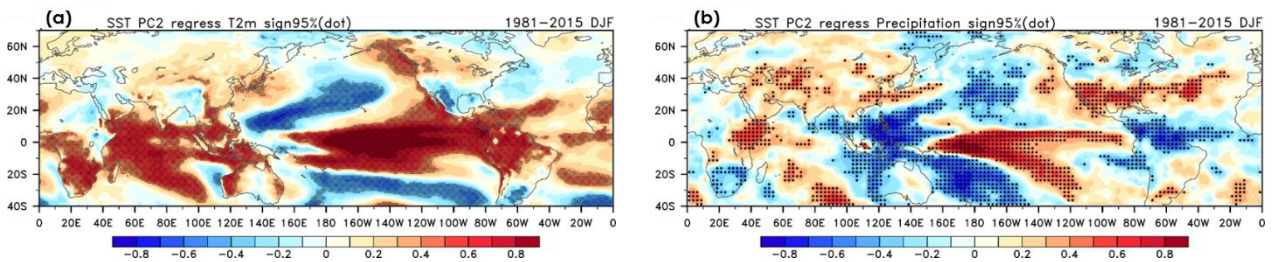


圖 6. 同圖 5，但為北半球冬季 AAIOWP SST EOF2。

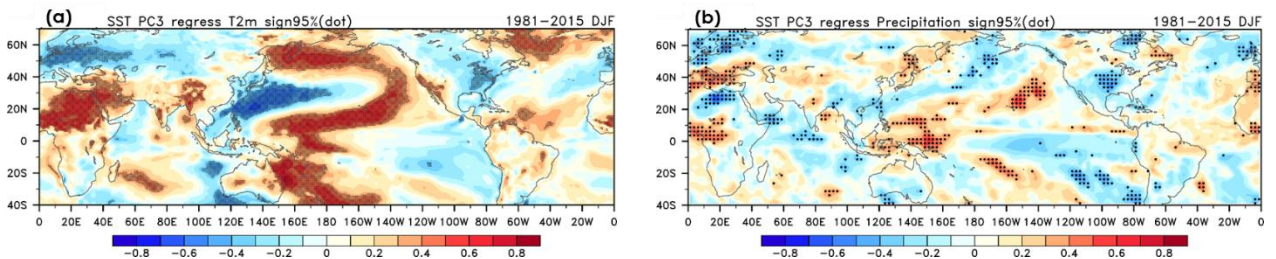


圖 7. 同圖 5，但為北半球冬季 AAIOWP SST EOF3。

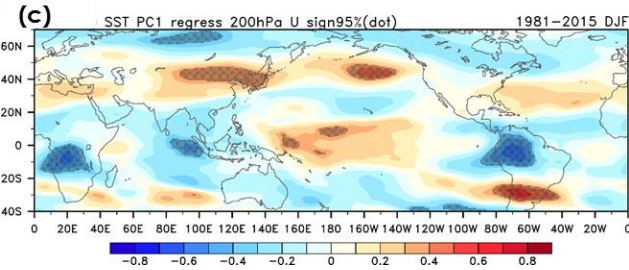
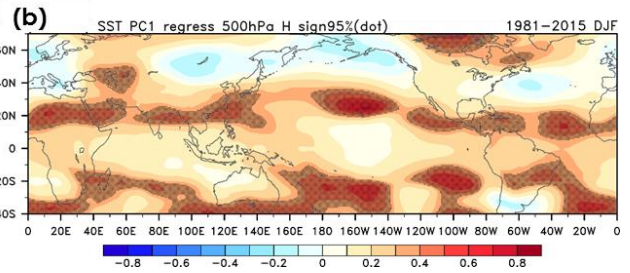
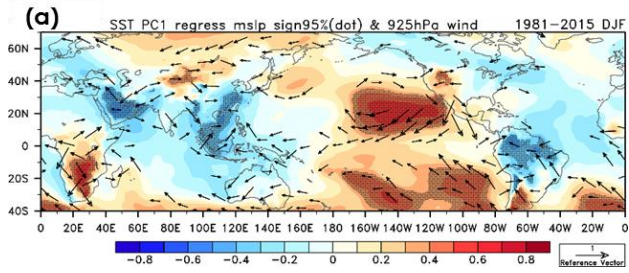


圖 8. 北半球冬季 AAIOWP SST EOF1 迴歸海平面氣壓、925hPa 風場、500hPa 高度場、200hPa 緯向風場變化。上排左邊為 (a)海平面氣壓(陰影)與 925hPa 風場(箭頭)，上排右邊為 (b)500hPa 高度場，下排左邊為 (c)200hPa 緯向風場。打點表示該值超過 95%統計檢定。

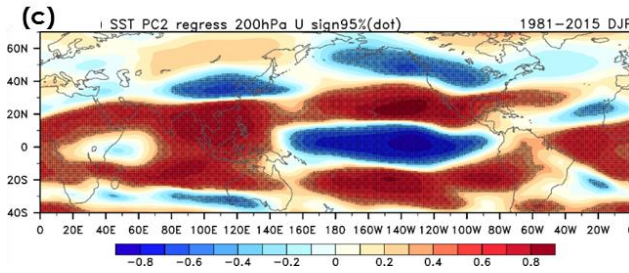
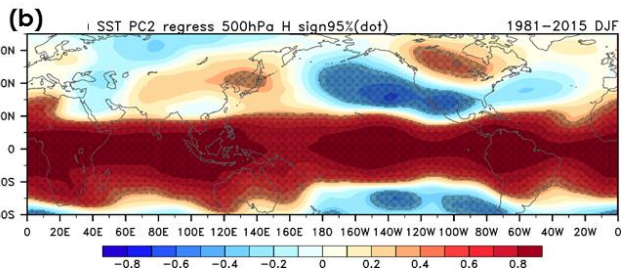
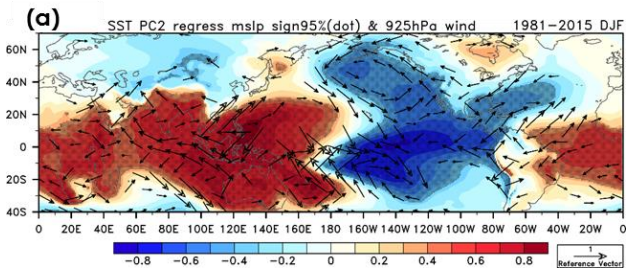


圖 9. 同圖 8，但為北半球冬季 AAIOWP SST EOF2。

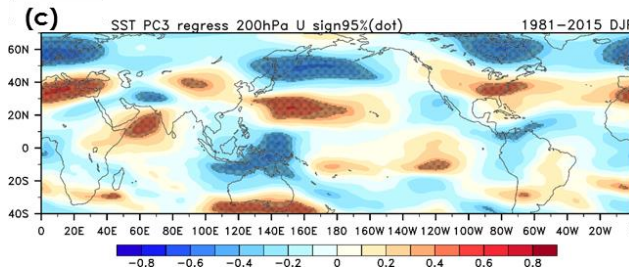
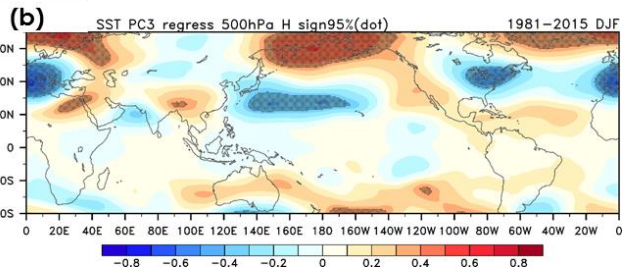
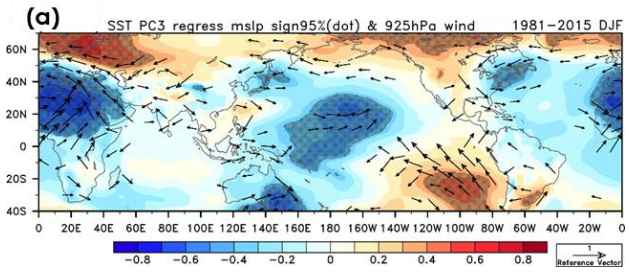


圖 10. 同圖 8，但為北半球冬季 AAIOWP SST EOF3。