

2017 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180003

參展科別 地球與環境科學科

作品名稱 北極震盪指數與北緯 40 度以北海溫距平值
之相關係數探討

得獎獎項 大會獎：三等獎

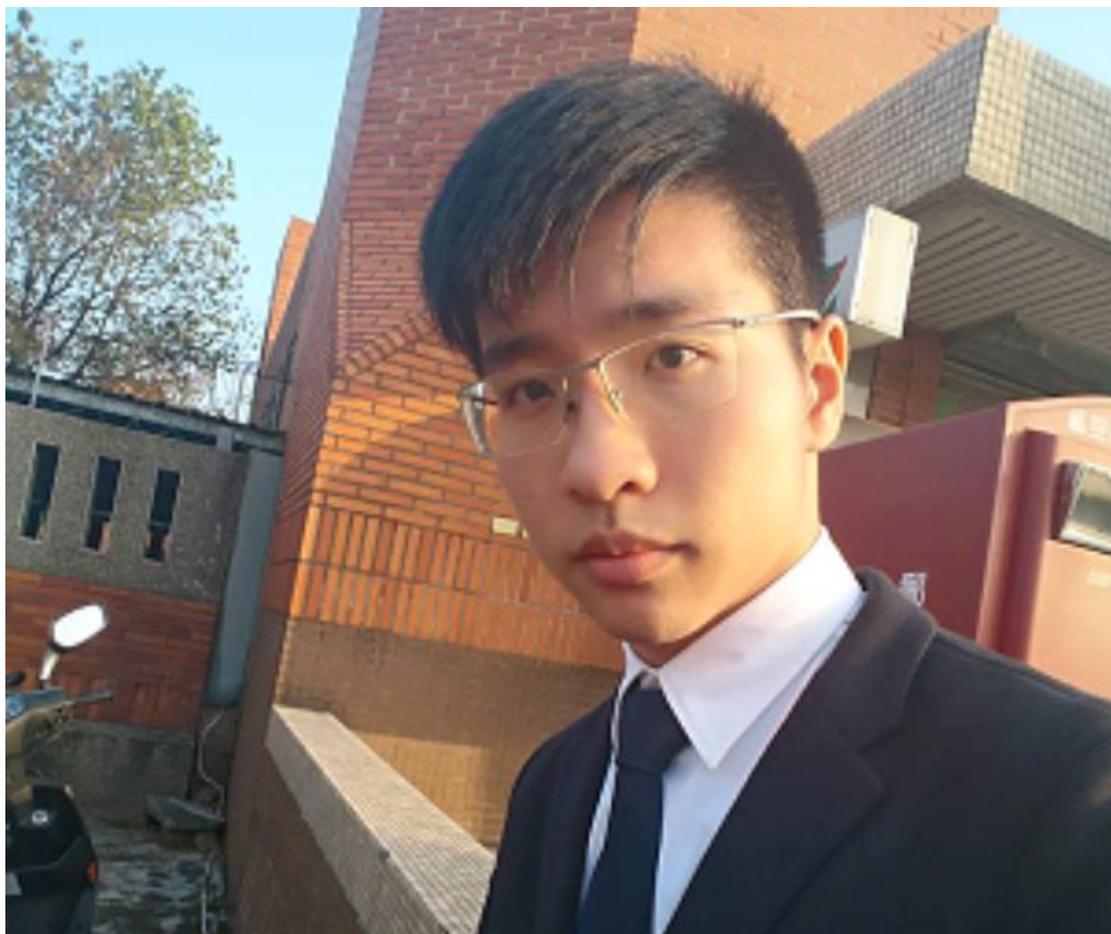
就讀學校 國立內壢高級中學

指導教師 潘建熾、陳佩欣

作者姓名 蕭賢毅、宋姍妤

關鍵字 北極震盪指數(Arctic Oscillation Index)、
海溫(SST)、相關係數(Correlation Coefficient)

作者簡介



我是蕭賢毅，對於科學真理，追根究柢；面對浩瀚的知識，虛心學習；挑戰降臨，勇於嘗試；在團體活動，扮演好每個角色，這是別人眼中的我。在多次的參與科學展覽的經驗中，知道知識的浩瀚，在每一次的競賽中不斷地獲得經驗而成長，學習對新事物的探索，勇於面對挑戰。



我是宋姲妤，從小熱切的喜愛學習各種各方面的新知，勇於挑戰各種事務，並樂於親近大自然，個性活潑樂觀。原本不太敢表達自己，因為參加了一次次的科展比賽而逐漸活躍開放了起來，不斷的學習各種知識和經驗，勇於實現自己的想法。希望能跟各位多方流，學習到各種不同的知識與想法，也將自己的想法完整的表達出去。

摘要

研究指出近年中高緯度天氣異常與北極震盪有關，本研究探討過去 30 年間北極震盪(AOI)、北大西洋震盪(NAOI)與南方震盪(SOI)特性及其間相關性，發現 AOI 與 NAOI 全年各月達中度相關以上，代表北極震盪暖相位時，西風有增強的趨勢，有利反聖嬰發展，說明海溫與北極震盪的連結。

分析 2004 至 2013 年北緯 40 度以北海溫資料，以月為單位各海域海溫距平值與 AOI 之相關係數，結合洋流圖進行區域互動之分析。發現當 AOI 正相位時，北大西洋暖流有增強的趨勢，與西風增強有關；海溫變化部份，6 月、7 月北緯 85 度以上北極海域低溫，應和夏季融冰或冷空氣封鎖極區有關，顯示高緯度海溫與北極震盪間的互動關係。

Abstract

In recent years, high-latitude weather anomalies have given rise to disasters. Research indicates that the Arctic Oscillation will affect the high-latitude weather systems and sea surface temperature (SST). This research investigates the characteristics and correlations between Arctic Oscillation index (AOI), North Arctic Oscillation index (NAOI) and South Oscillation index (SOI) over the past thirty years. Through this research, we discover that AOI and NAOI are positively related with each other each month through out the year, which represents when the AOI is at Positive Phase, the western wind tends to get stronger. This is in turn beneficial to La Nina development, and thus explains the link between the SST and the Arctic Oscillation.

After analyzing the SST satellite data, on the north of 40°N degrees from 2004 to 2013. Calculating the correlation coefficients seas SSTA value of AOI on a monthly basic and making on analysis of the regional interaction-with the help of ocean current diagram. We discovered that when AOI is at its positive phase, the North Atlantic Current have the tendency to turn and we inferred that there is some relationship with the strength of the western sea temperatures of the oceans. In June and July, above 85 degrees latitude and Siberia Arctic Ocean maybe have relationship with the melting of ice in summer or Polar air blockade, and that displays the interaction between the Arctic Oscillation and high-latitude SST.

壹、研究動機

近期國際新聞與雜誌報導，北美洲及歐洲等中高緯度地區多處發生天氣異常，如美國中西部在夏季時面臨乾旱，而美國東部冬季飽受暴風雪之苦；遠在大西洋東岸的英國也面臨暴風雨災害等。報導中此現象發生都歸咎一個生疏的名詞：「北極震盪」(Arctic Oscillation)。而 2016 年 1 月 24 日霸王級寒流侵襲台灣，原因也指向北極震盪負相位。北極震盪是什麼？為何一般影響中高緯度的北極震盪會造成台灣如此嚴重的寒害呢？引起我們研究北極震盪的興趣。

「北極震盪指數」(Arctic Oscillation Index)是統計中高緯度高空氣壓面高度距平變化的指數，可呈現中高緯度間高低氣壓變化。中高緯度間氣壓變化會影響風場變化，進而影響洋流的強弱及大氣中噴射氣流的運動模式、極圈上空極地渦旋強弱。也造成世界區域海水與大氣的溫度產生變異，影響世界各地天氣。(科學人雜誌)

本研究分析世界上各氣候指數間相關性，並利用 10 年的北緯 40 度以北海溫資料與北極震盪指數依據經緯度劃分區域進行相關係數分析，希望能找到海溫與北極震盪指數的關聯性，進而推論北極震盪與如何影響海水流動。

貳、研究目的

- 一、統計 1984 年至 2013 年各月北極震盪指數(AOI)、北大西洋震盪指數(NAOI)、南方震盪指數(SOI)、各月標準差、異常(一個標準差以上)月份數和兩指數間相關係數，以了解北極震盪指數(AOI)、北大西洋震盪指數(NAOI)、南方震盪指數(SOI)的特性及相關性。藉此推論北極震盪指數(AOI)可能對中低緯度區域的影響。
- 二、利用 Aqua 衛星 2004 至 2013 年各月北緯 40 度以上海域海溫數據，切割為經度 10 度、緯度 5 度為單位，計算北極震盪指數(AOI)與海溫距平值間相關係數，藉此了解北緯 40 度以北海溫所受 AOI 影響方式及範圍。
- 三、依據海流及海溫的特性，分區探討北極震盪指數(AOI)對海溫的影響，並推知可能造成洋流強弱及區域海溫高低的影響，並粗略推求可能原因。

參、研究設備器材

●電腦……一部 ●MATLAB 軟體……一套 ●OFFICE EXCEL 軟體……一套

肆、研究過程與方法

一、研究資料來源與相關原理：

(一)海溫資料：從 NASA 網站中 Aqua 衛星偵測得到的海溫資料。

1. Level 1&2 data：為每日的海溫資料，能選取需要的經緯度範圍，取得數值及圖形。
2. Level 3 data：把 level 1&2 data 整理，分成每月、每季、每年等的資料，下載範圍為全球數值資料，如圖 4-1，若需要特定經緯度資料須應用 MATLAB 軟體，書寫程式計算出區域數值。本研究使用 Level 3 data 的每月資料。

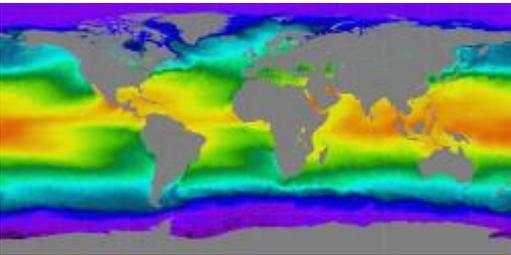


圖 4-1 NASA 網站 Aqua 衛星偵測得到的海溫資料 Level 3 data 呈現全球海溫圖

(二)北極震盪 (科學人雜誌、維基百科)：

1. 北極震盪(Arctic Oscillation)：北極與中緯度地區之間海平面氣壓的變化而產生的現象。在北極振盪的研究中使用「北極振盪指數」作為度量指標，目的在呈現變異情況。
2. 北極震盪指數(Arctic Oscillation Index, 簡稱 AOI)：所在地緯度與氣壓為 1000mb 的所在高度之函式與平均的變異量(距平值)。

AOI 指數為正，稱作「正(暖)相位」，代表極區氣壓距平相對中高緯度低。AO 指數為負，稱作「負(冷)相位」，代表極區氣壓距平值相對中高緯度高。當北極振盪指數為正值(正相位)時，表示北極的氣壓相較中緯度距平值比例年為低，與中緯度的氣壓差變大，此時圍繞北極的寒帶噴射氣流變強，極地渦旋(Polar Vortex)強度增加，此一變化會抑制北極的寒冷氣流南下，使得歐亞大陸北部及北美洲北部的冬季氣溫較例年為高，形成暖冬。反之，當北極振盪指數為負值(負相位)時，極區與中緯度的氣壓差變小，會造成冷空氣容易南下，北半球中緯度地帶冬季嚴寒。此正負向位相間的震盪效應即為北極震盪。

◎整理與聯想：北極震盪指數 \propto 北緯 40 度(南側)近地面氣壓距平值-北極(北側)近地面氣壓距平值

3. 北極震盪指數正相位時：

北極相對中緯度氣壓差變大，氣壓梯度力增加，使西風噴流增強，並且以直進的方式由西向東運動。而噴流把冷空氣侷限在北方，使北方的冷空氣形成較強的極地渦旋(鋒面低壓中心)，使得中緯度地區溫度較正常年暖(如圖 4-2)。

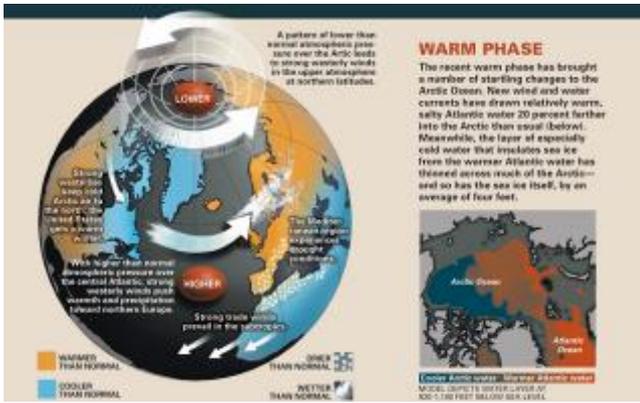


圖 4-2 北極震盪指數為正相位

(出處：<http://jisao.washington.edu/wallace/natgeo/ArcticSubart.pdf>)

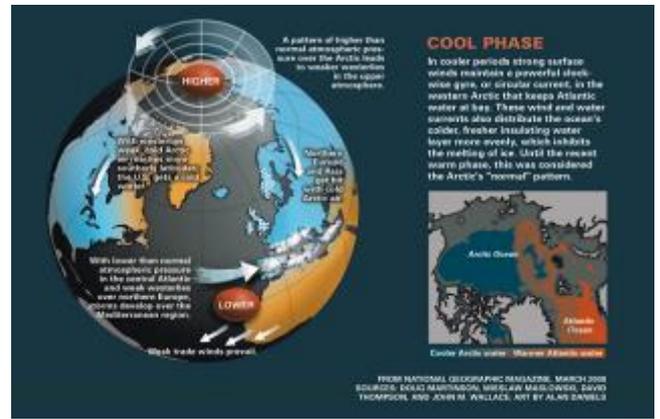


圖 4-3 北極震盪指數為負相位

4. 北極震盪指數為負相位時：

北極氣壓變異相對中緯度高壓，極區與中緯度壓力差縮小，因此使噴射氣流減弱而更容易大轉彎，產生擺盪。由於氣壓差變小使得冷空氣得以向南擴散，此時被侷限北方的冷空氣南下，使得極地渦旋減弱，北半球會因此壟罩在冷空氣之下(如圖 4-3)。

(三)北大西洋震盪指數(North Atlantic oscillation index, 簡稱 NAOI)：

北大西洋震盪指數是副熱帶高壓(亞速爾群島在大西洋)和副極地低壓(冰島)月平均 500mb 高度的函式計算值，位置如圖 4-4。此指數代表著大西洋中高緯度氣壓值的壓力差，氣壓梯度力驅動風場行成強大的西風跨過北大西洋，其影響氣候範圍從新英格蘭到西歐甚至到達西伯利亞，和地中海區域及南方的西非(NOAA)。

◎整理與聯想：北大西洋震盪指數 ∝ 亞述群島高空(南側)氣壓距平值 - 冰島高空(北側)氣壓距平值



圖 4-4 冰島及亞述群島位置示意圖(出處：
google map)

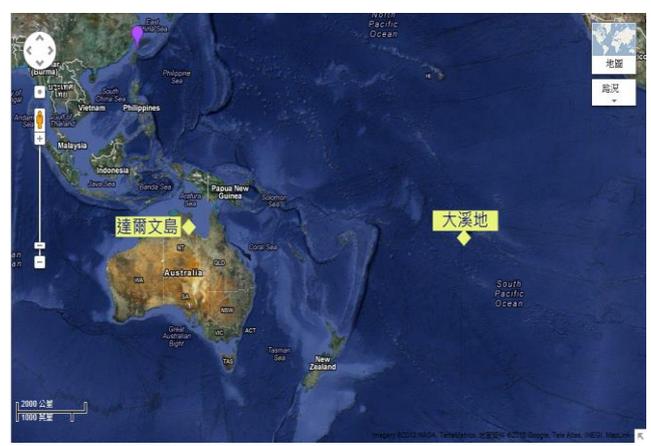


圖 4-5 大溪地及達爾文港位置(出處：
google map)

(四)南方震盪指數(SOI)：

南方震盪指數以大溪地與澳洲達爾文島間海平面氣壓距平差值(圖 4-5)，了解太平洋熱帶區域東、西部氣壓變動，推算聖嬰及反聖嬰現象的強弱。南方震盪值若為負值，代表大溪地(大西洋東側)低於正常氣壓值而達爾文島(大西洋西側)高於正常氣壓值。配合海溫解釋，代表太平洋熱帶區域，東部(大溪地)海溫相對西部(達爾文港)距平值差較大，若長時間處於此狀態，就是典型的聖嬰現象。若南方震盪指數長期處於正值，代表太平洋熱帶區域，西部(大溪地)海溫相對東部(達爾文港)距平值小，甚至為負值，則為反聖嬰現象。一般而言，聖嬰年時副熱帶高壓及西風

(五)相關係數、距平值、標準差：

1. 相關係數：

相關係數主要用於判斷兩者內容之間的關係。例如，可以檢測某一區域的平均氣溫與所使用的空調設備之間的相關性。(Office excel)

相關係數的絕對值不超過 1。當兩個變數的線性關係增強時，相關係數趨於 1 或 -1。當一個變數增加而另一變數也增加時，相關係數大於 0，為正相關。當一個變數的增加而另一變數減少時，相關係數小於 0，為負相關。

相關係數依據其相關性，區分為 $0 < \text{相關係數絕對值} < 0.3$ 為低度相關， $0.3 < \text{相關係數絕對值} < 0.7$ 為中度相關， $0.7 < \text{相關係數絕對值} < 1$ 為高度相關。(維基百科)

相關係數計算公式如下：

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

其中： \bar{x} 及 \bar{y} 為樣本平均數

2. 距平值：

在氣候統計中，通常指一地區在特定期間之氣象要素（尤指溫度、降水）與同地區該項要素準平均(Normal)之距平差(Departure) 或偏差(Deviation)。在氣象學中亦可指某地之氣象要素（尤指溫度）數值與同一時期該所在緯度上之緯向平均值之距平差。如歐洲之西北沿岸在冬季較同緯度其他地區為溫暖，即稱為「溫度正距平」，又如西伯利亞之東北部，冬季較其他同緯度地區為冷，即稱為「溫度負距平」。(氣象科技研究)

3. 標準差：

標準差是一種表示分散程度的統計觀念。標準差是一組數值自平均值分散開來的程度的一種測量觀念。一個較大的標準差，代表大部分的數值和其平均值之間差異較大；一個較小的標準差，代表這些數值較接近平均值。(MBA 智庫百科)

二、研究流程

- (一)北極震盪指數(AOI)、北大西震盪指數(NAOI)與南方震盪指數(SOI)的相關性探討(如圖 4-6)：
1. 由網站下載 30 年 AOI、NAOI 與 SOI：選擇 1984 年至 2013 年，由美國氣象及海洋總署(NOAA)網站下載 AOI、NAOI 值；由澳洲氣象局網站下載 SOI 值。
 2. 比較 AOI、NAOI 及 SOI 變異情況：針對兩指數比較其正負值轉換數及數值變異量(標準差)。
 3. 分月比較 AOI、NAOI 及 SOI 的相關性：利用 1984 年至 2013 年 30 年間的指數，比較各月份各別兩指數間的相關係數，了解兩者間關聯性。

(一)北極震盪指數、北大西洋震盪指數與南方震盪指數的相關性探討

(1)網站下載30年AOI、NAOI與SOI

NOAA網站-AO、NAO index

澳洲氣象局網站-SO index

(2)比較AOI、NAOI及SOI變異情況



(3)分月NAOI、SOI與AOI值進行相關係數計算

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
相關係數	0.16	0.32	-0.17	0.23	0.16	0.25	0.19	0.10	-0.07	0.48	-0.19	0.07

中度相關

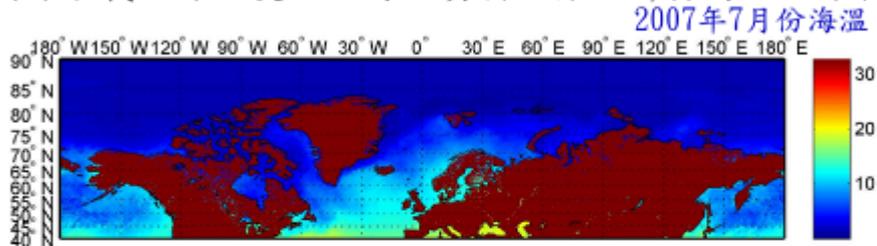
圖 4-6 研究流程一：北極震盪指數(AOI)與南方震盪指數(SOI)的相關性探討

(二)北緯 40 度以北海域海溫距平與北極震盪指數(AOI)相關性研究(如圖 4-7)：

1. 下載北緯 40 度以北海溫資料並分區計算海溫值：由 NASA 網站下載 2004 年至 2013 年海溫資料，並以經度 10 度緯度 5 度為單位，計算北緯 40 度以北各區海溫。
2. 分月計算各單位海溫距平值：以經度 10 度緯度 5 度為單位，2004 年至 2013 年 10 年間為基數，分月計算各單位海溫 10 年距平值。
3. 分月各單位海溫距平與 AOI 值進行相關係數計算，並標示相關性：將各單位海域海溫距平值與 AOI 值進行相關係數分析。並加入網底標示相關性。
4. 將各月各單位海溫與 AOI 值相關性繪入地圖中：將相關係分析結果標示在地圖上，進行分析。

(二)北緯40度以北海域海溫距平與北極震盪指數(AOI)相關性研究

(1)下載北緯40度以北海溫資料並分區計算海溫距平值



(2)分月計算各單位海溫距平值 7月份海溫距平值

經緯度	170-160W	170-160W	160-150W	150-140W	140-130W	130-120W	120-110W	110-100W	100-90W	90-80W	80-70W	70-60W	60-50W	50-40W
90-85	-0.57	-0.53	-0.47	-0.44	-0.41	-0.34	-0.33	-0.32	-0.34	-0.39	-0.42	-0.39	-0.34	-0.23
85-80	-0.25	-0.50	-0.29	-0.20	-0.19	-0.15	-0.27	-0.42	-0.46	-0.26	-0.36	-0.43	-0.09	0.08
80-75	-0.21	-0.19	-0.20	-0.12	0.05	0.09	0.32	-0.03	0.06	-0.15	-0.52	-0.48	0.07	
75-70	-0.38	-0.08	-0.35	0.05	0.28	0.25	0.48	0.30	0.04	-0.41	-0.03	-0.23	-0.14	
70-65	-0.04	0.04	-0.04	0.35	0.42	0.76	0.69	0.53	0.27	0.02	0.18	0.47	0.45	0.54
65-60	0.45	0.07	0.19	-0.08	0.08	0.75	0.57	0.07	0.32	0.12	0.21	0.49	0.68	0.37
60-55	0.43	0.38	0.09	-0.04	0.02	0.40	0.35	0.05	0.31	0.46	0.36	0.26	0.39	0.48
55-50	0.26	0.12	0.05	0.06	0.12	0.12	0.63	0.29	0.00	0.42	0.46	0.23	0.18	0.49
50-45	-0.07	-0.05	0.34	0.06	-0.03	0.15	0.64	0.25	0.71	0.81	0.49	0.58	0.16	0.19
45-40	-0.22	0.35	0.57	-0.24	-0.31	0.04	0.34	0.88	0.26	0.76	0.70	0.47	-0.03	0.24

(3)分月各單位海溫距平與AOI值計算相關係數，標示相關性



(4)將各月各單位海溫與AOI值相關性繪入地圖中

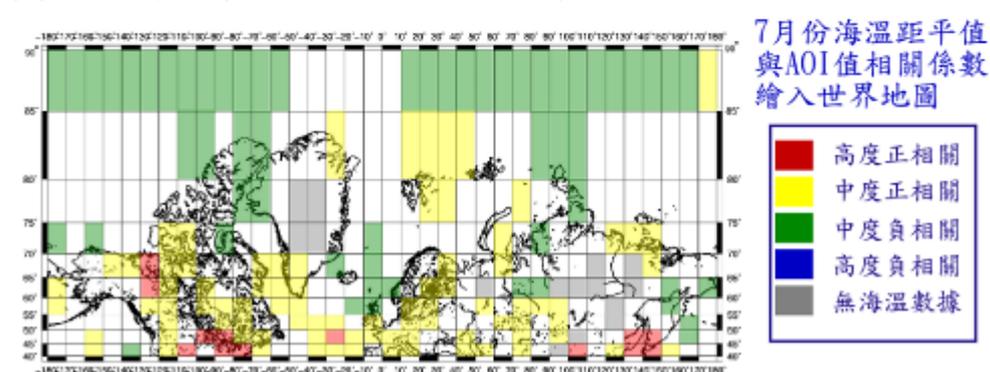


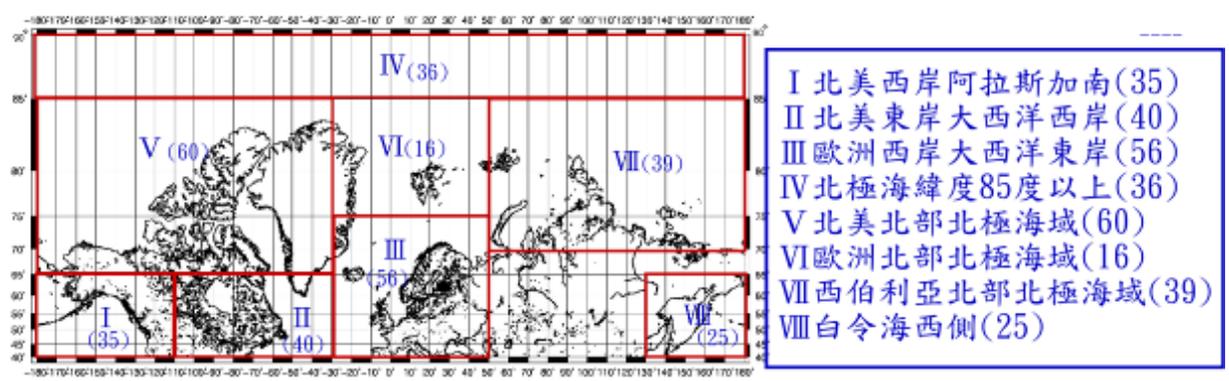
圖 4-7 研究流程二：北緯 40 度以北海域海溫距平與北極震盪指數(AOI)相關性研究

(三)北緯 40 度以北分區海域海溫距平與 AOI 相關性探討(圖 4-8)：

1. 將北緯 40 度以北海域區分為 8 區：依據各月海溫距平與 AOI 值相關分布特性，將北緯 40 度以北海域區分為 8 個區域。
2. 計算各月各區海域內海溫距平與 AOI 相關性單位數，製成表格：計算各海域內海溫距平與 AOI 中度相關以上及低度相關單位數量，並製程表格，依據相關性不同加入底色進行比對。
3. 將各月海域相關性底色繪入地圖中進行分析：分月將各月各海域相關性底色繪入地圖，進行分析。

(三)北緯40度以北分區海域AOI與海溫距平相關性探討

(1)將北緯40度以北海域區分為8區



(2)計算各月各區海域內海溫距平與AOI相關性單位數，製成表格

海域\月份	I 北美西岸-阿拉斯加南(35)	II 北美東岸-大西洋西岸(40)	III 歐洲西岸-大西洋東岸(56)	IV 北極海緯度85度以上(36)	V 北美北部-北極海域(60)	VI 歐洲北部-北極海域(16)	VII 西伯利亞-北部北極海域(39)
1月	3-13-18	8-9-18	31-8-16	無數個	4-4-2	8-0-3	5-0-3
2月	3-16-15	6-7-22	15-4-35	無數個	0-5-3	2-1-9	3-1-4
3月	0-21-14	4-11-25	26-5-27	無數個	1-4-3	1-2-9	4-0-5
4月	4-4-27	2-15-23	14-6-36	無數個	5-4-19	2-1-11	16-0-6
5月	7-2-26	6-7-27	15-4-37	無數個	3-16-37	5-1-10	8-3-28
6月	6-1-28	16-4-20	9-4-43	0-25-11	11-11-34	8-2-8	8-3-28
7月	11-1-23	23-0-12	20-7-29	1-29-8	10-9-35	7-0-9	5-5-29
8月	5-0-30	9-0-31	7-0-49	0-0-36	8-0-48	5-9-11	6-0-33
9月	2-0-33	11-1-28	13-0-43	1-0-35	8-1-47	2-9-14	0-0-39
10月	5-12-18	14-8-18	6-8-42	無數個	8-5-29	2-1-12	1-10-22
11月	18-9-14	0-28-8	4-14-38	無數個	0-14-17	1-5-4	0-11-5
12月	12-7-15	1-18-19	23-13-20	無數個	4-6-5	3-2-6	0-4-2

中度正相關3個
中度負相關13個
低度相關18個

- 中度正相關>全區1/2
- 中度負相關>全區1/2
- 中度正相關>全區1/3
- 中度負相關>全區1/3
- 中度正相關>相對1/2
- 中度負相關>相對1/2

(3)將各月海域相關性底色繪入地圖中進行分析

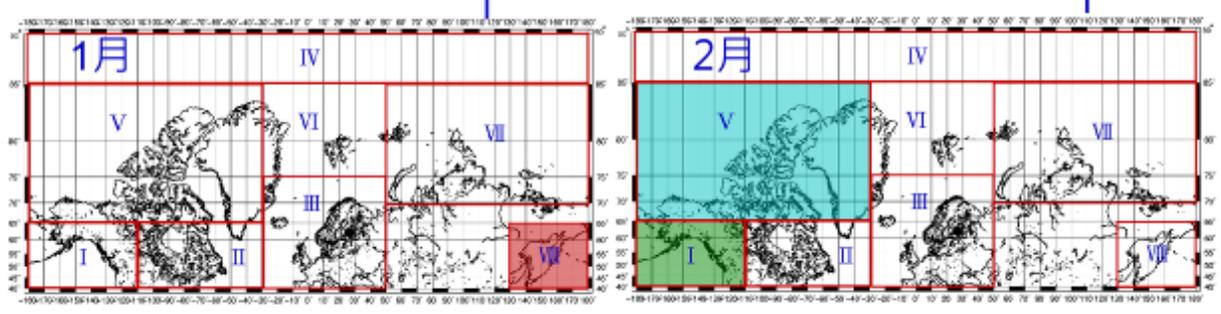


圖 4-8 研究流程三：北緯 40 度以北分區海域海溫距平與 AOI 相關性探討

伍、結果

一、北極震盪指數(AOI)、南方震盪指數(SOI)、北大西洋震盪指數(NAOI)的相關性探討：

討：

表 5-1 為 1984 年到 2013 年各月 AOI；表 5-2 為 NAOI；表 5-3 為 SOI。三表中翻轉數，代表此年中該指數數值由正轉負或由負轉正次數。以此 30 年數值為基底，統計平均值及標準差值，數值網底黃色(■)為大於平均值一個標準差以上數值；數值網底綠色(■)為小於平均值一個標準差以上數值。並計算各月數值標準差列於表格底部。並分月計 AOI、SOI 及 NAOI 間相關係數；指數間隔月及前月相關係數，結果如表 5-4，結果發現如下：

- (一) 指數正負值翻轉數 AOI 多於 SOI：統計 1984 年至 2013 年間各月 AOI、NAOI 及 SOI 正負數值翻轉數可發現 30 年間 AOI 反轉 147 次、NAOI 反轉 132 次、SOI 反轉 104 次。代表 AOI 值翻轉較易發生，變化速度較快，可見三指數以 AOI 變異最快。
- (二) AOI 值發生異常主要在 12 月至隔年 3 月間：AOI 值異常情況(大於平均一個標準差或小於一個標準差)主要發生在 12 月至 3 月間，且數值變異量標準差相較其他月份大，猜測冬季極區冷空氣南移狀況，應是影響北半球氣壓分布最明顯的時候，也影響 AOI 值。NAOI 及 SOI 異常情況則分散各月，且標準差無特定月份變異較大。
- (三) AOI 與 SOI 值相關係數達中度相關有 2 月及 10 月(如表 5-4)：統計 30 年間 AOI 及 SOI 相關係數，當月相關係數僅 2 月及 10 月達中度相關，數值分別為 0.32 及 0.48。而 AOI 與隔月及前月 SOI 相關係數則均未達中度相關(絕對值大於 0.3)。可能代表兩指數當月相互影響性最高，但也僅 2 月與 10 月達中度相關。
- (四) 三指數間相關性比較，以 AOI 與 NAOI 相關性最大(如表 5-4)：當月 AOI 與 NAOI 全年每月均達中度正相關，且 12 月中有 6 個月達高度相關，代表當北極震盪(AOI)正(暖)相位時，北大西洋震盪指數(NAOI)也為正，代表當北極極區與中緯度相對氣壓差較大時，即北極氣壓相對較高時，亞述群島與冰島附近副極地低壓氣壓差較大，代表副極地低壓(氣旋)相對較強。

表 5-1 1984 年到 2013 年各月 AOI 值

AOI	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	翻轉數
1984	0.9	-0.3	-2.4	-0.3	0.5	0.0	0.0	0.5	-0.4	-0.3	-1.0	0.4	4
1985	-2.8	-1.4	0.6	0.7	-0.4	-0.3	-0.4	0.0	0.1	1.0	-1.2	-1.9	5
1986	-0.6	-2.9	1.9	0.1	0.4	0.5	0.0	-0.8	0.0	1.4	0.9	0.1	3
1987	-1.1	-1.5	-1.7	0.4	0.3	-0.7	-0.5	-0.8	0.3	-0.1	-0.5	-0.5	5
1988	0.3	-1.1	-0.2	-0.6	-0.8	0.1	-0.1	0.3	1.0	0.0	0.0	1.7	6
1989	3.1	3.3	1.5	-0.3	0.9	0.3	0.9	0.6	0.7	1.0	0.0	-0.6	3
1990	1.0	3.4	3.0	1.9	0.9	0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0.7	0.5	1.3	3
1991	0.7	-0.9	-0.5	0.5	0.5	-0.1	-0.2	0.8	-0.1	-0.3	0.3	1.6	6
1992	0.6	1.1	1.0	-0.5	1.3	-0.3	0.2	0.5	-0.6	-0.4	0.7	1.6	6
1993	3.5	0.2	0.8	-0.4	-1.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	1.0	-0.1	3
1994	-0.3	-0.9	1.9	0.2	-0.1	1.6	0.4	0.8	-0.1	0.2	1.8	0.9	5
1995	-0.2	1.4	0.4	-1.0	-0.9	-0.1	-0.2	0.5	-0.5	0.1	-0.7	-2.1	7
1996	-1.2	0.2	-1.5	-1.5	-0.2	0.5	0.7	0.1	-1.1	0.2	0.1	-1.7	6
1997	-0.5	1.9	1.1	0.3	-1.0	-0.8	-0.4	0.1	0.2	-0.7	-0.7	-0.1	4
1998	-2.1	-0.2	-0.3	0.0	0.4	-0.7	-0.2	0.7	-1.1	0.3	-1.4	1.4	7
1999	0.1	0.5	-1.5	0.3	0.2	0.7	0.0	-0.7	0.1	0.0	0.6	1.0	6
2000	1.3	1.1	-0.5	-0.3	1.0	0.6	-0.6	0.1	0.4	0.3	-1.6	-2.4	5
2001	-1.0	-0.6	-1.7	0.9	0.5	0.0	0.0	0.5	-0.7	0.7	0.8	-1.3	6
2002	1.4	1.3	0.9	0.7	0.4	0.6	0.3	-0.2	0.0	-1.5	-1.4	-1.6	2
2003	-0.5	0.1	0.9	-0.2	1.0	-0.1	0.1	-0.3	0.5	-0.7	0.6	0.3	9
2004	-1.7	-1.5	0.3	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.7	0.9	-0.5	0.7	1.2	6
2005	0.4	-1.3	-1.4	-0.1	-0.8	-0.4	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	-2.1	3
2006	-0.2	-0.2	-1.6	0.1	0.2	1.1	0.1	-0.3	0.6	-1.0	0.5	2.3	5
2007	2.0	-1.3	1.2	0.5	0.9	-0.6	-0.4	0.0	0.2	0.4	-0.5	0.8	6
2008	0.8	0.9	0.6	-0.5	-1.2	-0.1	-0.5	-0.1	-0.3	1.7	0.1	0.7	2
2009	0.8	-0.7	0.1	1.0	1.2	-1.4	-1.4	-0.1	0.9	-1.5	0.5	-3.4	7
2010	-2.6	-4.3	-0.4	-0.3	-0.9	0.0	0.4	-0.1	-0.9	-0.5	-0.4	-2.6	2
2011	-1.7	1.6	1.4	2.3	0.0	-0.9	-0.5	-1.1	0.7	0.8	1.5	2.2	3
2012	-0.2	0.0	1.0	0.0	0.2	-0.7	0.2	0.0	0.8	-1.5	-0.1	-1.8	7
2013	-0.6	-1.0	-3.2	0.3	0.5	0.6	0.0	0.2	-0.5	0.3	2.0	1.5	5
標準差	1.5	1.6	1.4	0.8	0.8	0.6	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.6	總合 147

表 5-2 1984 年到 2013 年各月 NAOI 值

NAOI	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	轉換
1984	1.66	0.72	-0.37	-0.28	0.54	-0.42	-0.07	1.15	0.17	-0.07	-0.06	0	6
1985	-1.61	-0.49	0.2	0.32	-0.49	-0.8	1.22	-0.48	-0.52	0.9	-0.67	0.22	7
1986	1.11	-1	1.71	-0.59	0.85	1.22	0.12	-1.09	-1.12	1.55	2.29	0.99	6
1987	-1.15	-0.73	0.14	2	0.98	-1.82	0.52	-0.83	-1.22	0.14	0.18	0.32	4
1988	1.02	0.76	-0.17	-1.17	0.63	0.88	-0.35	0.04	-0.99	-1.08	-0.34	0.61	6
1989	1.17	2	1.85	0.28	1.38	-0.27	0.97	0.01	2.05	-0.03	0.16	-1.15	5
1990	1.04	1.41	1.46	2	-1.53	-0.02	0.53	0.97	1.06	0.23	-0.24	0.22	4
1991	0.86	1.04	-0.2	0.29	0.08	-0.82	-0.49	1.23	0.48	-0.19	0.48	0.46	6
1992	-0.13	1.07	0.87	1.86	2.63	0.2	0.16	0.85	-0.44	-1.76	1.19	0.47	3
1993	1.6	0.5	0.67	0.97	-0.78	-0.59	-3.18	0.12	-0.57	-0.71	2.56	1.56	4
1994	1.04	0.46	1.26	1.14	-0.57	1.52	1.31	0.38	-1.32	-0.91	0.64	2.02	4
1995	0.93	1.14	1.25	-0.85	-1.49	0.13	-0.22	0.69	0.31	0.19	-1.38	-1.67	5
1996	-0.12	-0.07	-0.24	-0.17	-1.06	0.56	0.57	1.02	-0.86	-0.33	-0.56	-1.41	2
1997	-0.49	1.7	1.46	-1.02	-0.28	-1.47	0.34	0.83	0.61	-1.7	-0.9	-0.96	4
1998	0.39	-0.11	0.87	-0.68	-1.32	-2.72	-0.48	-0.02	-2	-0.29	-0.28	0.87	4
1999	0.77	0.29	0.23	-0.95	0.92	1.12	-0.9	0.39	0.36	0.2	0.65	1.64	4
2000	0.6	1.7	0.77	-0.03	1.58	-0.03	-1.03	-0.29	-0.21	0.92	-0.92	-0.58	5
2001	0.25	0.45	-1.26	0	-0.02	-0.2	-0.25	-0.07	-0.65	-0.24	0.63	-0.83	5
2002	0.44	1.1	0.69	1.18	-0.22	0.38	0.62	0.38	-0.7	-2.28	-0.18	-0.94	3
2003	0.16	0.62	0.32	-0.18	0.01	-0.07	0.13	-0.07	0.01	-1.26	0.86	0.64	7
2004	-0.29	-0.14	1.02	1.15	0.19	-0.89	1.12	-0.48	0.38	-1.1	0.73	1.21	7
2005	1.52	-0.06	-1.83	-0.3	-1.25	-0.02	-0.51	0.37	0.63	-0.98	-0.31	-0.44	3
2006	1.27	-0.51	-1.28	1.24	-1.14	0.84	0.9	-1.73	-1.62	-2.24	0.44	1.34	6
2007	2.22	-0.47	1.44	0.17	0.66	-1.31	-0.58	-0.14	0.72	0.45	0.58	0.34	4
2008	0.89	0.73	0.05	-1.07	-1.73	-1.39	-1.27	-1.16	1.02	-0.04	-0.32	-0.28	3
2009	-0.01	0.06	0.57	-0.2	1.68	-1.21	-2.15	-0.19	1.51	-1.03	-0.02	-1.93	6
2010	-1.11	-1.98	-0.88	-0.72	-1.49	-0.82	-0.42	-1.22	-0.79	-0.93	-1.62	-1.85	0
2011	-0.88	0.7	0.61	2.48	-0.06	-1.28	-1.51	-1.36	0.54	0.39	1.36	2.52	3
2012	1.17	0.42	1.27	0.47	-0.91	-2.53	-1.32	-0.99	-0.59	-2.06	-0.58	0.17	2
2013	0.35	-0.45	-1.61	0.69	0.59	0.52	0.67	0.97	0.24	-1.28	0.9	0.95	4
標準 差	0.90	0.86	0.98	1.00	1.09	1.04	1.01	0.80	0.93	0.95	0.93	1.14	總和 132

表 5-3 1984 年到 2013 年各月 SOI 值

SOI	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	轉換
1984	1.3	5.8	-5.8	2	-0.3	-8.7	2.2	2.7	2	-5	3.9	-1.4	7
1985	-3.5	6.7	-2	14.4	2.8	-9.6	-2.3	8.5	0.2	-5.6	-1.4	2.1	7
1986	8	-10.7	0.8	1.2	-6.6	10.7	2.2	-7.6	-5.2	6.1	-13.9	-13.6	7
1987	-6.3	-12.6	-16.6	-24.4	-21.6	-20.1	-18.6	-14	-11.2	-5.6	-1.4	-4.5	0
1988	-1.1	-5	2.4	-1.3	10	-3.9	11.3	14.9	20.1	14.6	21	10.8	5
1989	13.2	9.1	6.7	21	14.7	7.4	9.4	-6.3	5.7	7.3	-2	-5	3
1990	-1.1	-17.3	-8.5	-0.5	13.1	1	5.5	-5	-7.6	1.8	-5.3	-2.4	4
1991	5.1	0.6	-10.6	-12.9	-19.3	-5.5	-1.7	-7.6	-16.6	-12.9	-7.3	-16.7	2
1992	-25.4	-9.3	-24.2	-18.7	0.5	-12.8	-6.9	1.4	0.8	-17.2	-7.3	-5.5	4
1993	-8.2	-7.9	-8.5	-21.1	-8.2	-16	-10.8	-14	-7.6	-13.5	0.6	1.6	1
1994	-1.6	0.6	-10.6	-22.8	-13	-10.4	-18	-17.2	-17.2	-14.1	-7.3	-11.6	3
1995	-4	-2.7	3.5	-16.2	-9	-1.5	4.2	0.8	3.2	-1.3	1.3	-5.5	6
1996	8.4	1.1	6.2	7.8	1.3	13.9	6.8	4.6	6.9	4.2	-0.1	7.2	3
1997	4.1	13.3	-8.5	-16.2	-22.4	-24.1	-9.5	-19.8	-14.8	-17.8	-15.2	-9.1	1
1998	-23.5	-19.2	-28.5	-24.4	0.5	9.9	14.6	9.8	11.1	10.9	12.5	13.3	1
1999	15.6	8.6	8.9	18.5	1.3	1	4.8	2.1	-0.4	9.1	13.1	12.8	2
2000	5.1	12.9	9.4	16.8	3.6	-5.5	-3.7	5.3	9.9	9.7	22.4	7.7	2
2001	8.9	11.9	6.7	0.3	-9	1.8	-3	-8.9	1.4	-1.9	7.2	-9.1	7
2002	2.7	7.7	-5.2	-3.8	-14.5	-6.3	-7.6	-14.6	-7.6	-7.4	-6	-10.6	2
2003	-2	-7.4	-6.8	-5.5	-7.4	-12	2.9	-1.8	-2.2	-1.9	-3.4	9.8	3
2004	-11.6	8.6	0.2	-15.4	13.1	-14.4	-6.9	-7.6	-2.8	-3.7	-9.3	-8	5
2005	1.8	-29.1	0.2	-11.2	-14.5	2.6	0.9	-6.9	3.9	10.9	-2.7	0.6	9
2006	12.7	0.1	13.8	15.2	-9.8	-5.5	-8.9	-15.9	-5.1	-15.3	-1.4	-3	1
2007	-7.3	-2.7	-1.4	-3	-2.7	5	-4.3	2.7	1.5	5.4	9.8	14.4	3
2008	14.1	21.3	12.2	4.5	-4.3	5	2.2	9.1	14.1	13.4	17.1	13.3	2
2009	9.4	14.8	0.2	8.6	-5.1	-2.3	1.6	-5	3.9	-14.7	-6.7	-7	5
2010	-10.1	-14.5	-10.6	15.2	10	1.8	20.5	18.8	25	18.3	16.4	27.1	1
2011	19.9	22.3	21.4	25.1	2.1	0.2	10.7	2.1	11.7	7.3	13.8	23	0
2012	9.4	2.5	2.9	-7.1	-2.7	-10.4	-1.7	-5	2.7	2.4	3.9	-6	3
2013	-1.1	-3.6	11.1	0.3	8.4	13.9	8.1	-0.5	3.9	-1.9	9.2	0.6	5
標準差	10.6	12.2	11.0	14.5	10.2	9.7	9.0	9.6	9.9	10.4	10.1	10.9	總合 104

表 5-4 分月 AOI、SOI 及 NAOI 間相關係數值表

AOI 與 SOI 指數相關係數值(a)												
月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
當月 AOI 與 SOI 相關係數	0.16	0.32	-0.17	0.23	0.16	0.25	0.19	0.10	-0.07	0.48	-0.19	0.07
AOI 與隔月 SOI 相關係數	0.07	0.15	-0.09	-0.06	0.14	-0.09	0.01	0.00	-0.02	0.27	-0.11	-0.16
AOI 與前月 SOI 相關係數	0.25	0.04	0.12	0.15	0.12	0.26	0.06	-0.25	0.22	-0.19	0.03	0.02
AOI 與 NAOI 指數相關係數值(b)												
月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
當月 AOI 與 NAOI 相關係數	0.72	0.86	0.81	0.49	0.62	0.80	0.53	0.55	0.32	0.77	0.66	0.77
AOI 與隔月 NAOI 相關係數	0.18	0.38	0.05	0.34	-0.07	0.40	0.17	-0.33	0.14	-0.12	0.51	0.35
AOI 與前一個月 NAOI 相關係數	0.45	0.55	0.41	0.18	0.06	0.04	0.51	0.14	-0.02	-0.14	0.12	0.51
SOI 與 NAOI 指數相關係數值(c)												
月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
當月 SOI 與 NAOI 相關係數	-0.07	0.27	0.10	0.01	0.11	0.12	-0.00	-0.07	-0.02	0.14	-0.30	0.04
SOI 與隔月 NAOI 相關係數	0.21	0.17	-0.07	0.12	0.09	-0.00	-0.02	-0.01	0.11	-0.29	0.04	0.01
SOI 與前一個月 NAOI 相關係數	-0.18	0.07	-0.18	0.01	-0.14	-0.06	-0.17	-0.32	0.05	0.23	-0.19	-0.45

二、北緯 40 度以北海域海溫距平與北極震盪指數(AOI)相關性研究(如圖 5-1、5-2、5-3、5-4)：

以經度 10 度緯度 5 度為海域單位，分析各單位海溫距平值與 AOI 值相關係數，繪入地圖，將高度正相關海域加紅色底色(■)；中度正相關加黃色底色(■)；中度負相關加綠色底色(■)；高度負相關加入藍色底色(■)；而沒有數據者加灰色底色(■)，並區分季節討論如下。

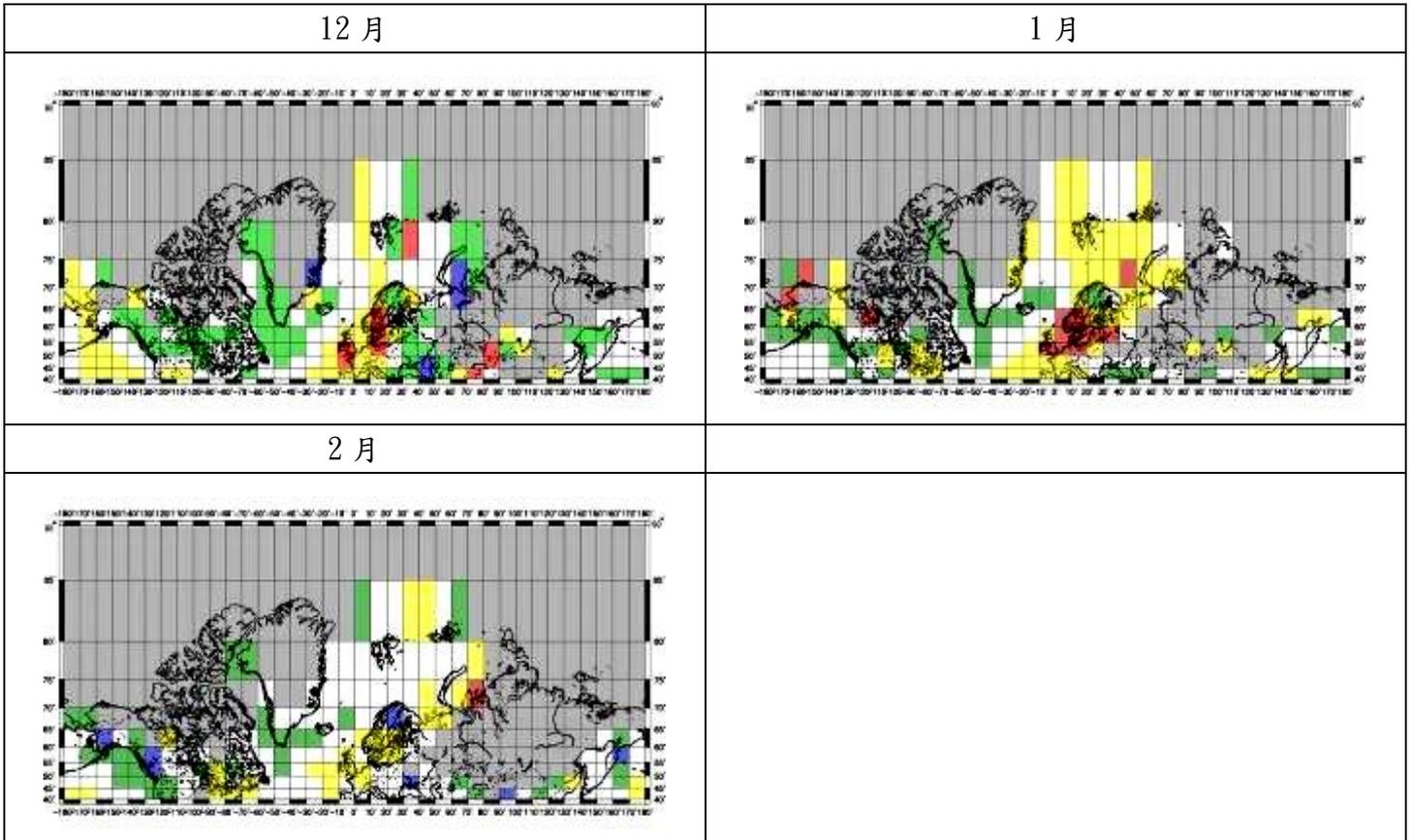


圖 5-1、冬季(12 月、1 月、2 月)AOI 值與海溫距平相關性分布圖

(一)冬季(12 月、1 月、2 月，如圖 5-1)：

1. AOI 值與海溫正相關海域：

- (1)大西洋東部海域：比較明顯正相關區域出現在大西洋東部海域，以 1 月份最為明顯，代表當 AOI 值為正(暖相位)時，北大西洋東岸海溫較高。
- (2)阿拉斯加南部：12 月阿拉斯加南部海域，出現大規模正相關區域。

2. AOI 值與海溫負相關海域：

- (1)大西洋西岸海域：大西洋西岸海域(加拿大東岸及格陵蘭周邊海域)，以 12 月最為明顯，代表當 AOI 值為正(暖相位)時，海溫較低。
- (2)阿拉斯加南部：大規模負相關出現在阿拉斯加南部，以 2 月最為明顯，代表當 AOI 值為正(暖相位)時，此區海溫較低。

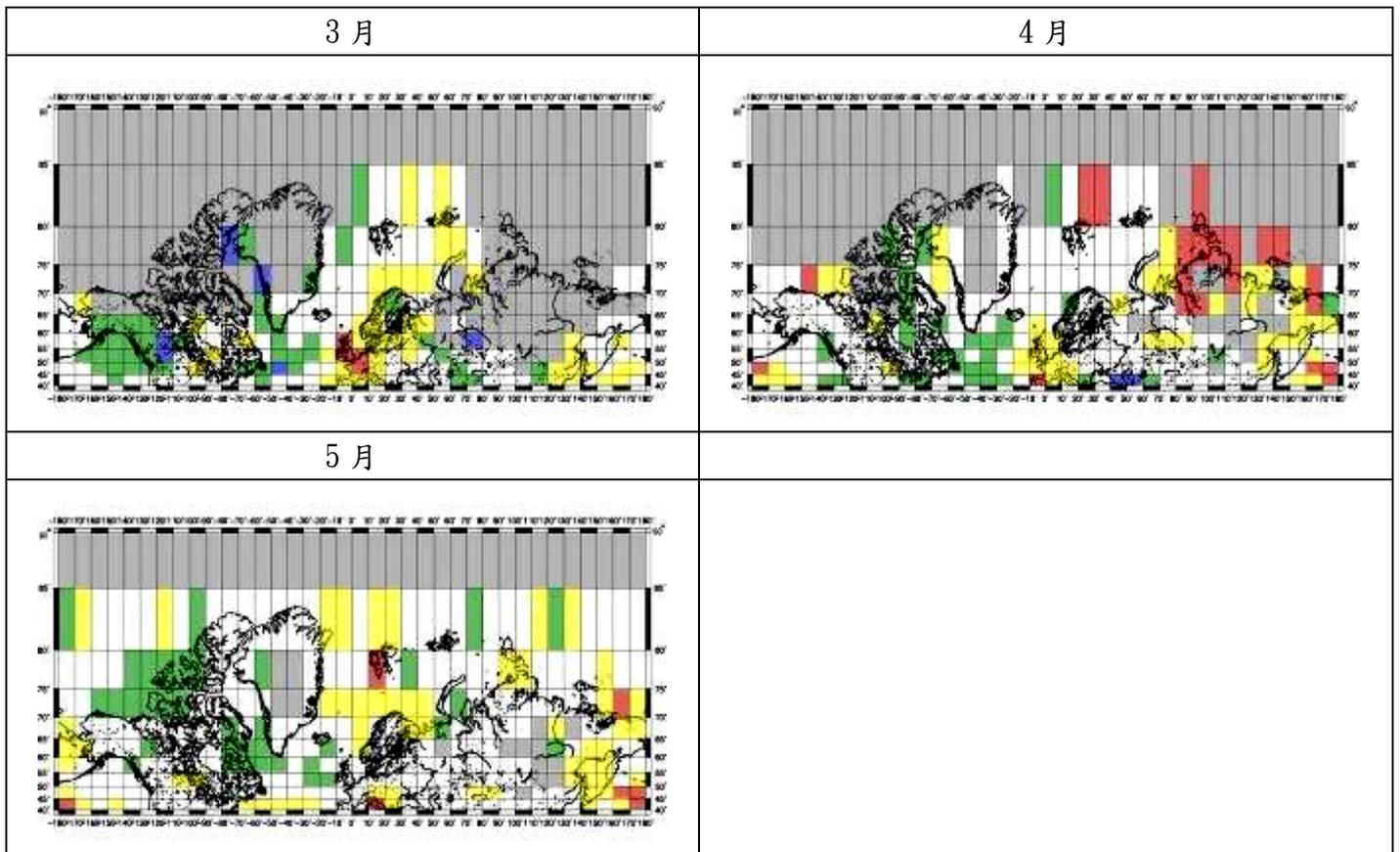


圖 5-2、春季(3 月、4 月、5 月)AOI 值與海溫距平相關性分布圖

(二)春季(3 月、4 月、5 月，如圖 5-2)：

1. AOI 值與海溫正相關海域：比較明顯正相關區域出現在大西洋東部海域，以 3、4 月份最為明顯，但分布區域些許不同，3 月正相關分布位置與冬季相似，在北緯 75 度以南範圍，但 4 月份西伯利亞北部也出現大規模正相關區域，代表當 AOI 值為正(暖相位)時，北大西洋東岸海溫較高。
2. AOI 值與海溫負相關海域：
 - (1)大西洋西岸海域：大西洋西岸海域(加拿大東岸及格陵蘭周邊海域)，以 3、4 月最為明顯。代表當 AOI 值為正(暖相位)時，海溫較低。
 - (2)北美北岸北極海域：5 月份由於海溫資料較多，北美北岸北極海域出現大規模負相關區域。代表當 AOI 值為正(暖相位)時，海溫較低。

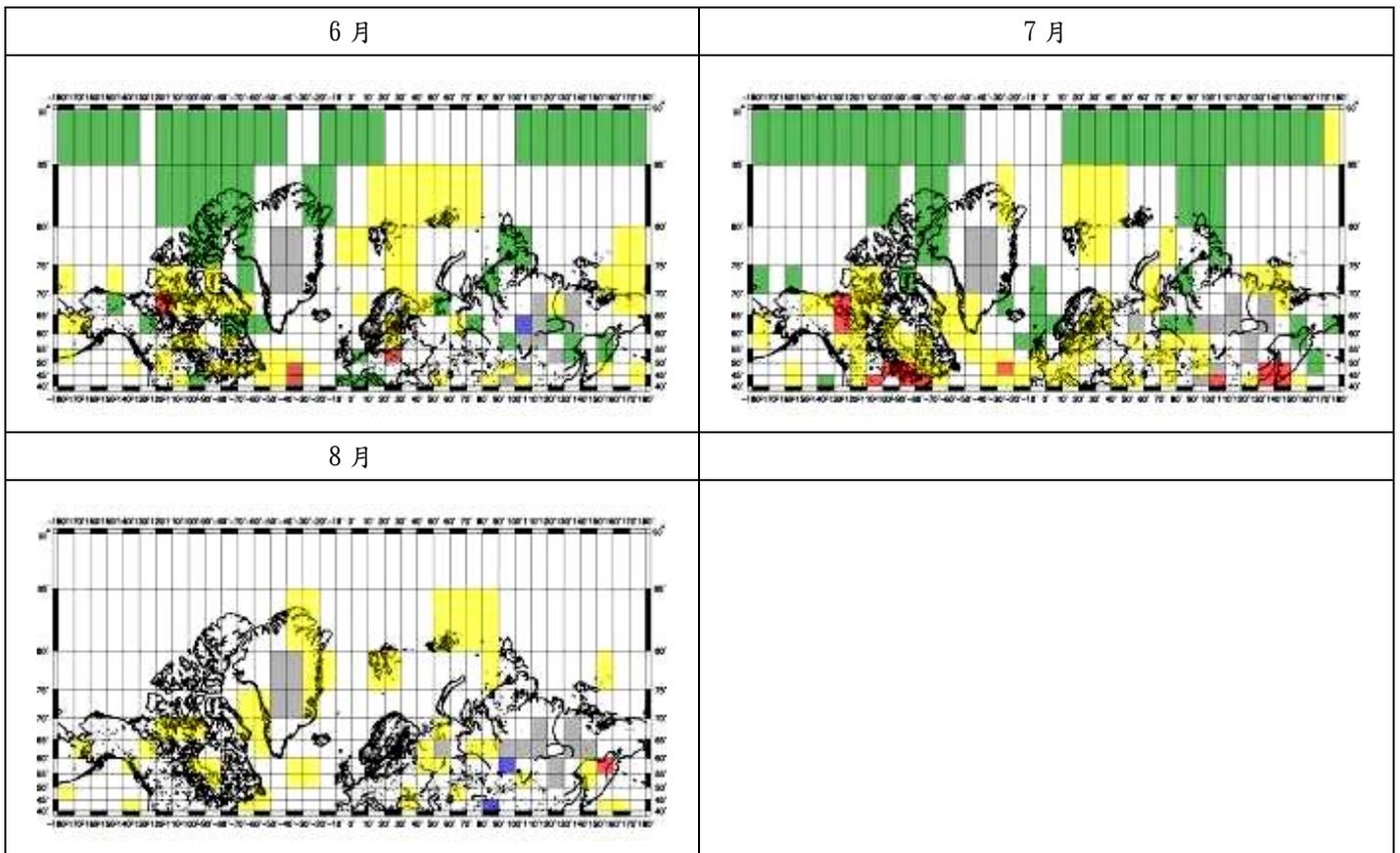


圖 5-3、夏季(6 月、7 月、8 月)AOI 值與海溫距平相關性分布圖

(三)夏季(6 月、7 月、8 月，如圖 5-3)：

1. AOI 值與海溫正相關海域：

- (1)歐洲北部海域：6、7 月大規模出現在歐洲北部北緯 75 至 85 度海域
- (2)北美及大西洋西岸：6、7 月大規模出現在北美及大西洋西岸海域。代表當北極震盪 AOI 值為暖相位時相對海溫較高。8 月份明顯正相關區域減少。

2. AOI 值與海溫負相關海域：

- (1)北緯 85 以北海域：6、7 月大規模出現在北緯 85 度以北海域。
- (2)加拿大北部海域：6、7 月大規模出現在加拿大北部海域。代表當北極震盪 AOI 值為暖相位時相對海溫較低。但 8 月份明顯負相關區域消失。

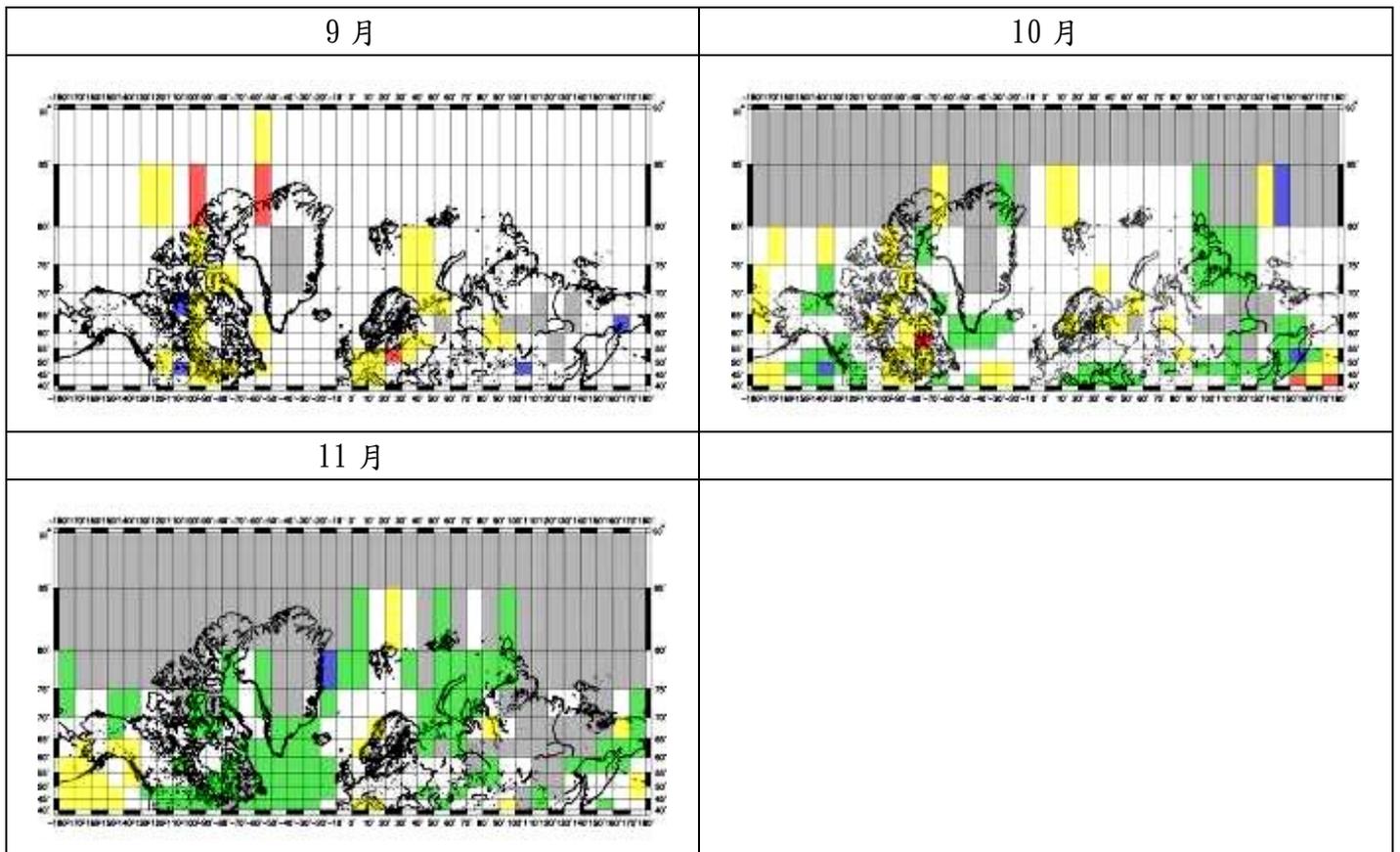


圖 5-4、秋季(9 月、10 月、11 月)AOI 值與海溫距平相關性分布圖

(四)秋季(9 月、10 月、11 月，如圖 5-4)：

1. AOI 值與海溫正相關海域：

- (1)北美東岸：9、10 月北美東岸，出現大規模正相關區域。
- (2)歐洲及歐洲北部海域：9 月份歐洲及歐洲北部海域，出現大規模正相關區域。
- (3)阿拉斯加南部海域：11 月阿拉斯加南部海域，出現大規模正相關區域。代表當北極震盪 AOI 值為暖相位時相對海溫較高。

2. AOI 值與海溫負相關海域：

- (1)北美、大西洋東岸海域：10 月到 11 月負相關區域逐漸增加。
- (2)西伯利亞北部海域：10 月到 11 月負相關區域逐漸增加。代表當北極震盪 AOI 值為暖相位時相對海溫較低。但 8 月份明顯負相關區域消失。

三、北緯 40 度以北分區海域海溫距平與 AOI 相關性探討：

(一)統計分區海域海溫距平與 AOI 值相關性：

依據區域洋流狀況，將北緯 40 度以北海域區分為 8 區，如圖 5-5。並計算各區相關性單位數(緯度 5 度、經度 10 度為單位)，如表 5-5。表中三數字代表(中度正相關以上單位數)-(中度負相關以上單位數)-(低度相關單位數)，如 I 區 1 月數據 3-13-18，代表正相關 3 個單位；負相關 13 個單位；低度相關 18 個單位，有數值共 34 個。而表格中區域下方標示數字為此區單位總數。如此可知較大範圍海溫距平值與 AOI 值相關性位置分布區域。

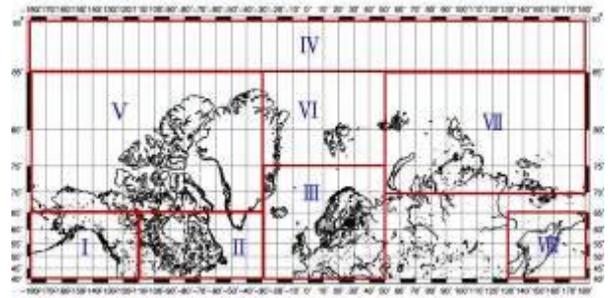


圖 5-5 北緯 40 度以北海域分區圖

依據以上統計，若中度正相關單位數超過全區單位數 1/2 以上加紅色底色(■)；中度負相關單位數超過全區單位數 1/2 以上加深藍底色(■)。中度正相關單位數超過全區單位數 1/3 以上加土色底色(■)；中度負相關單位數超過全區單位數 1/3 以上加綠色底色(■)。中度正相關單位數超過有數據單位數 1/2 以上加黃色底色(■)；中度負相關單位數超過有數據單位數 1/2 以上加淺藍色底色(■)。

表 5-5 八個分區海域各月份海溫距平與 AOI 值相關表

海域 月份	I 北美西岸 阿拉斯加南 (35 單位)	II 北美東岸 大西洋西岸 (40 單位)	III 歐洲西岸 大西洋東岸 (56 單位)	IV 北極海緯 度 85 度以 上 (36 單位)	V 北美北部 北極海域 (60 單位)	VI 歐洲北部 北極海域 (16 單位)	VII 西伯利亞 北部北極海 域(39 單 位)	VIII 白令海西側 (25 單位)
1 月	3-13-18	8-9-18	31-6-16	無數據	4-4-2	8-0-5	5-0-3	4-5-14
2 月	3-16-15	6-7-22	15-4-35	無數據	0-5-3	2-1-9	3-1-4	3-4-12
3 月	0-21-14	4-11-25	26-5-27	無數據	1-4-3	1-2-9	4-0-5	10-0-13
4 月	4-4-27	2-15-23	14-6-36	無數據	5-4-19	2-1-11	16-0-6	14-0-9
5 月	7-2-26	6-7-27	15-4-37	無數據	3-16-37	5-1-10	8-3-28	16-0-9
6 月	6-1-28	16-4-20	9-4-43	0-25-11	11-11-34	8-2-6	8-3-28	3-4-17
7 月	11-1-23	23-0-17	20-7-29	1-29-6	10-9-35	7-0-9	5-5-29	5-5-14
8 月	5-0-30	9-0-31	7-0-49	0-0-36	8-0-48	5-0-11	6-0-33	5-0-18
9 月	2-0-33	11-1-28	13-0-43	1-0-35	8-1-47	2-0-14	0-0-39	0-1-23
10 月	5-12-18	14-8-18	6-8-42	無數據	8-5-29	2-1-12	1-10-22	6-11-7
11 月	18-3-14	0-28-8	4-14-38	無數據	0-14-17	1-5-4	0-11-5	2-8-13
12 月	12-7-15	1-18-19	23-13-20	無數據	4-6-5	3-2-6	0-4-2	0-7-16

(二)各月份分區海域相關性分布，繪入地圖比較：

將表 5-5 各月各海域海溫距平與 AOI 值相關性底色繪入地圖中，如圖 5-6。

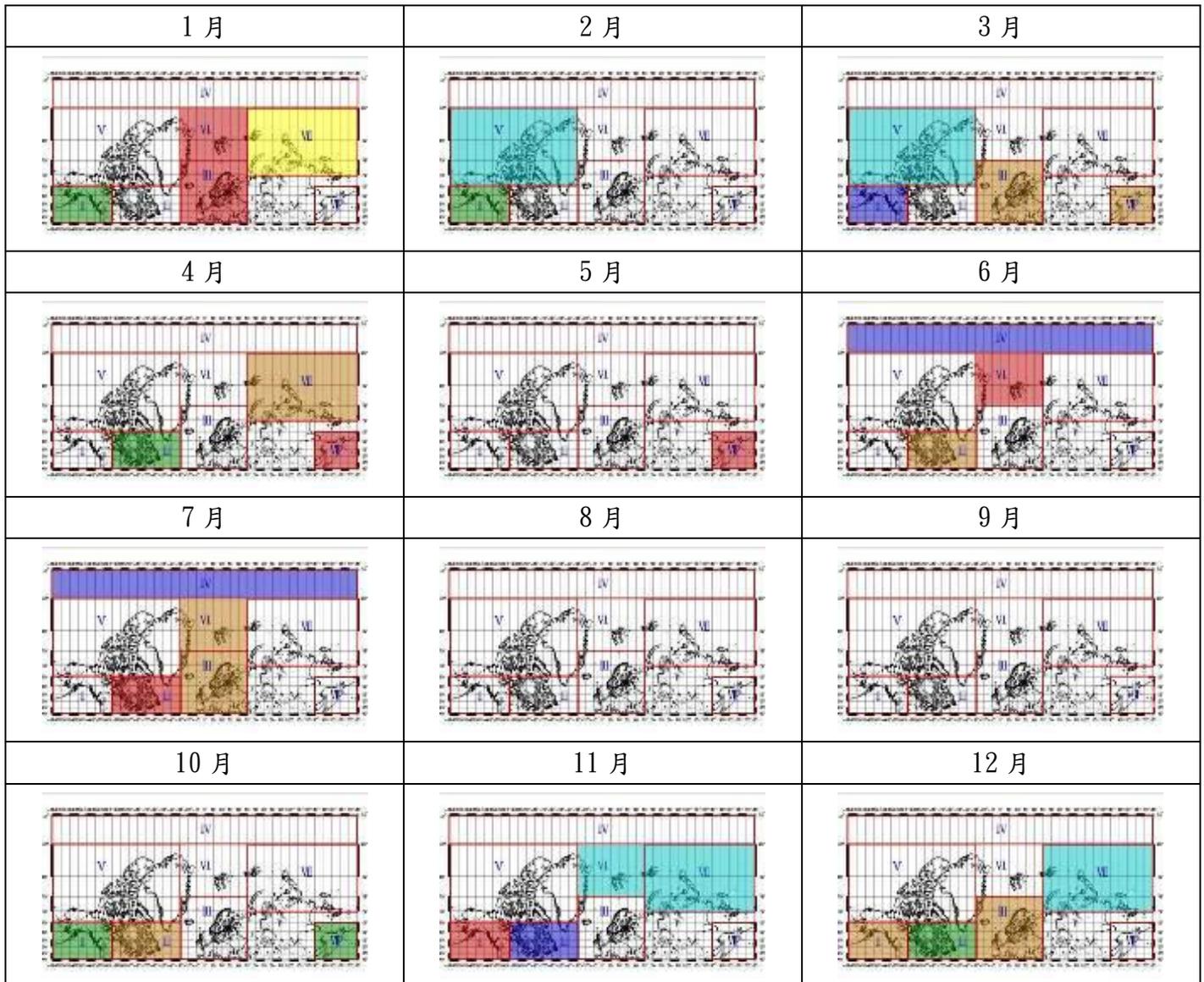


圖 5-6 分區海域海溫距平值與 AOI 值相關性圖

●分區各月相關性分布圖如附件一

陸、討論

一、北極震盪指數(AOI)、北大西洋震盪(NAOI)與南方震盪指數(SOI)的相關性探討：

(一)比較 AOI、NAOI 和 SOI 指數各月份數值標準差及正負翻轉次數：

1. 標準差：統計 30 年各月份 AOI、NAOI 及 SOI 指數標準差數值及數值反轉次數，如表 6-1。表 6-1，12 個月中標準差最大的 4 個月份加黃底(■)；標準差最小的 4 個月份加綠底(■)。發現 AOI 及 SOI 兩指數在 6 至 9 月夏季及秋季初標準差都較小，代表變異性不大。但 12 月至隔年 4 月冬季到春初，

標準差較大，代表變異性較大，代表冬季及春季為兩指數變化最大的時間。NAOI 則以 12 月、5、6、7 月變化較大。

表 6-1 1984 到 2013 年 AOI、NAOI 及 SOI 指數各月份標準差值比較表

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	翻轉次數
AOI	1.5	1.6	1.4	0.8	0.8	0.6	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.6	147
NAOI	0.90	0.86	0.98	1.00	1.09	1.04	1.01	0.80	0.93	0.95	0.93	1.14	132
SOI	10.6	12.2	11	14.5	10.2	9.7	9	9.6	9.9	10.4	10.1	10.9	104

2. 指數正負翻轉次數：依據表 5-1 及表 5-2 統計 30 年正負翻轉次數 AOI 指數 147 次；NAOI 指數 132 次；SOI 指數 104 次。AOI 值明顯翻轉次數較多，可見 AOI 指數變化較 NAOI、SOI 指數快。

(二)比較 AOI、NAOI 和 SOI 指數各月份平均一個標準差以上數值分布：

統計 1984 到 2013 年 30 年間各月份指數超過一個標準差以上月份數，如表 6-2。統計月份數在 12 個月中前四名加黃色底色(■)；後四名加綠色底色(■)。由表 6-2 可知 AOI 出現異常月份主要分布在冬季(12 月、1 月、2 月)及初春(3 月)，其他月份異常明顯較少；NAOI 異常情況多出現在 5、8、12 月各月份差異不大；SOI 則主要出現在春末夏初(4 月、5 月、6 月)及 2 月、8 月、10 月，異常月份分布較平均，不如 AOI 值集中。由表 6-1 及表 6-2AOI 值標準差大及異常多均出現在冬季，夏季則反之，可見 AOI 變異主要在冬季，可能與冷氣團強度變化較大在冬季有關。SOI 值在冬季雖標準差大，但異常並無明顯較多，異常較多月份分布在春末夏初，可能與季節轉變速度快慢有關。而 NAOI 並無異常出現明顯較多月份。

表 6-2 1984 到 2013 年 30 年間各月份 AOI、NAOI 及 SOI 指數正負一個標準差以上月份數統計表

月	1月		2月		3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月	
	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
AOI	5	7	8	8	7	8	2	1	2	2	2	1	0	1	0	1	0	2	2	3	3	4	9	10
小計	12		16		15		3		4		3		1		1		2		5		7		19	
NAOI	4	5	4	4	5	4	4	5	4	6	5	4	3	5	7	7	4	5	4	5	4	4	5	5
小計	9		8		9		9		10		9		8		14		9		9		8		10	
SOI	5	3	6	5	4	3	7	9	6	6	5	6	5	2	5	6	5	3	5	7	7	2	7	3
小計	8		11		7		16		12		11		7		11		8		12		9		10	

(三)AOI、NAOI 與 SOI 各月份相關係數：

統計 1984 到 2013 年 30 年間各月 AOI、NAOI 與 SOI 相關係數，如表 5-4，比較如下：

1. AOI、SOI 各月相關係數分析：

參考表 5-4(a)達中度正相關月份有 2 月相關係數 0.32 及 10 月相關係數 0.48，代表當 AOI 正時(暖相位)，SOI 值也為正(反聖嬰)；當 AOI 負時(冷相位)，SOI 值也為負(聖嬰)。相關性達中度正相關有 2 月及 10 月，猜測為此兩月海溫變異性較大的月份，AOI 影響北緯 40 度以上區域大氣變化；SOI 影響中低緯度區域，相互影響應在變異大的時期。其他月份當月均未達中度相關。

為找到 AOI 與 SOI 相互影響，是 AOI 影響 SOI 還是 SOI 影響 AOI，計算了 AOI 與隔月及前月

SOI 相關係數。發現 AOI 與隔月及前月 SOI 相關係數則均未達中度相關(絕對值大於 0.3)，可能代表 AOI 與 SOI 無明顯相互影響的時序差異。但未來可作不同時間差如 10 日、15 日等再做相關性計算，如此才能確實證明無時序差異。

2. AOI、NAOI 各月相關係數分析：

參考表 5-4(b)兩係數各月份均達中度正相關以上，且達高度相關月份達 6 個月(1、2、3、6、10、12 月)，代表當 AOI 正時(暖相位)，NAOI 值也為正；當 AOI 負時(冷相位)，NAOI 值也為負。代表當北極氣壓差較大時，冰島低壓與亞述高壓氣壓差大，副極地低壓也較強(氣壓相對較低)，意味極地渦旋相對較強，由此推論西風強度可能相對較強，造成北大西洋暖流強度增強。

但指數相差前後一個月比較，均有 5 個月達中度相關，可能代表 AOI 與 NAOI 間會相互影響，可達一個月以上。

3. NAOI、SOI 各月相關係數分析：

參考表 5-4(c)兩係數僅 11 月達中度負相關，其他均未達中度相關，代表當 NAOI 為正時，SOI 值為負；當 NAOI 為負時，SOI 值為正。冰島低壓與亞述高壓氣壓差大，SOI 值為負，較易發生聖嬰現象(SOI 呈現負值)。但是僅一個月達中度負相關，其他月份均無相關性，且係數前後一個月差的相關性也不大。

二、北緯 40 度以北海域海溫距平與北極震盪指數(AOI)相關性研究：

(一) 海流與海溫相關性說明：

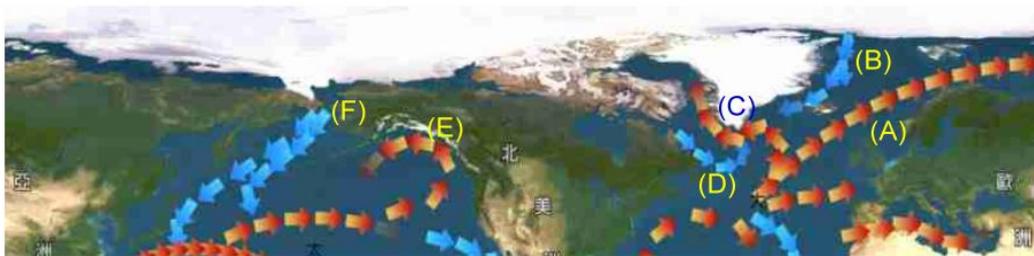


圖 6-1 北緯 40 以北主要的表面洋流(海洋教育網)

圖 6-1 為全球主要表面洋流圖，本研究主要針對北緯 40 度以北海域海溫進行研究，圖中紅色箭頭為暖流流向；藍色箭頭為冷流流向。圖中標示：

- (A)北大西洋暖流(North Atlantic Warm Current)
- (B)東格陵蘭寒流(East Greenland Cold Current)
- (C)西格陵蘭暖流(West Greenland Warm Current)
- (D)拉布拉多寒流(Labrador Cold Current)
- (E)阿拉斯加暖流(Alaska Warm Current)
- (F)千島寒流(Kuril Cold Current)

(二) 大規模區域 AOI 與海溫中度正負相關出現區域及月份討論：

1. 歐洲西岸(北大西洋暖流經海域)冬季至初春：

明顯看出 12 月至隔年 3 月(如圖 6-2)，其中以 1 月份最明顯，AOI 與海溫大規模呈正相關，代表當 AOI 為正(暖相位)時，海水較暖，暖水主要經北大西洋暖流由低緯度區域到達北大西洋海域，故推論當 AOI 暖相位時北太平洋暖流較強。

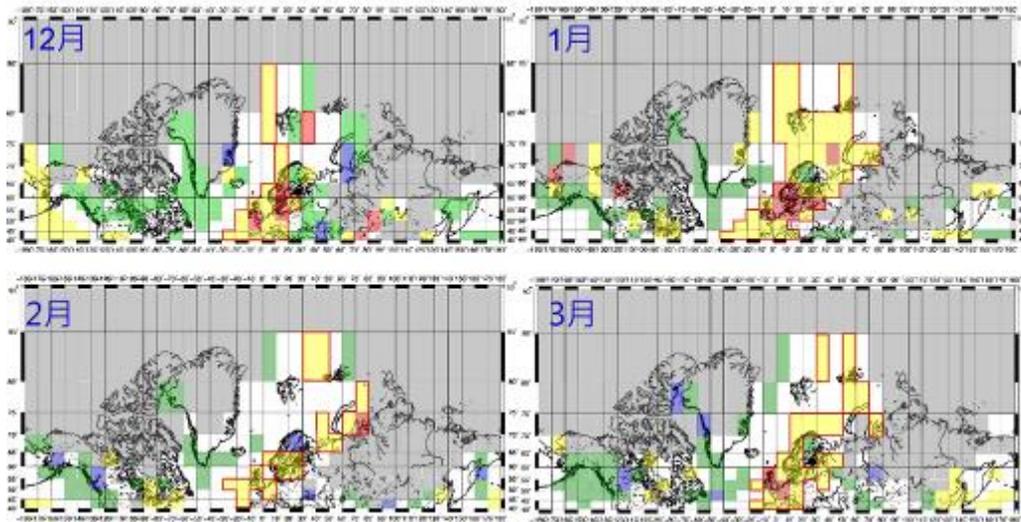


圖 6-2 12 月至 3 月歐洲西岸 AOI 與海溫距平中度正相關以上海域(紅色框線)

2. 北極海夏季：

圖 6-3 可發現 6 月、7 月北極海域北緯 80 度以北海域，呈現大規模 AOI 與海溫負相關，但 8 月及 9 月有數據的月份負相關消失，猜測與北極融冰有關，論述如下。

6、7 月北極海域發生永晝，大規模海冰受陽光照射融化，融化後的冷淡水覆蓋北極海域造成海水低溫。北極震盪暖相位時可見極區高緯度 AOI 與海溫呈現負相關，中緯度則呈現正相關，由此推測當北極震盪暖(正)相位時，冷水出現極區，可能為北極震盪暖(正)相位時冷空氣鎖在極區，造成低溫。由於冬季時，可見中緯度亦持續呈現正相關，推測冬季時冷空氣仍然封鎖極區，造成冬季結冰量增加。當夏季極區永晝發生，融冰可能因此變多，覆蓋北極海域造成海水低溫。造成 AOI 正值(暖相位)，北極海域相較低溫的情況發生(負相關)。但 8、9 月可能融化冰量減少，使 AOI 與海溫距平值相關性減少。

選擇北極海冰邊緣三海域，如表 6-3，A 為西經 170 至 180 度，北緯 70 至 75 度；B 為東經 0 至 10 度，北緯 80 至 85 度；C 為東經 70 至 80 度，北緯 75 至 80 度。可見 A 海域 6 月至 10 月；B 海域 7 月、8 月；C 海域 6 月至 10 月為海溫較高月份。可見北極海融冰應在此月份。

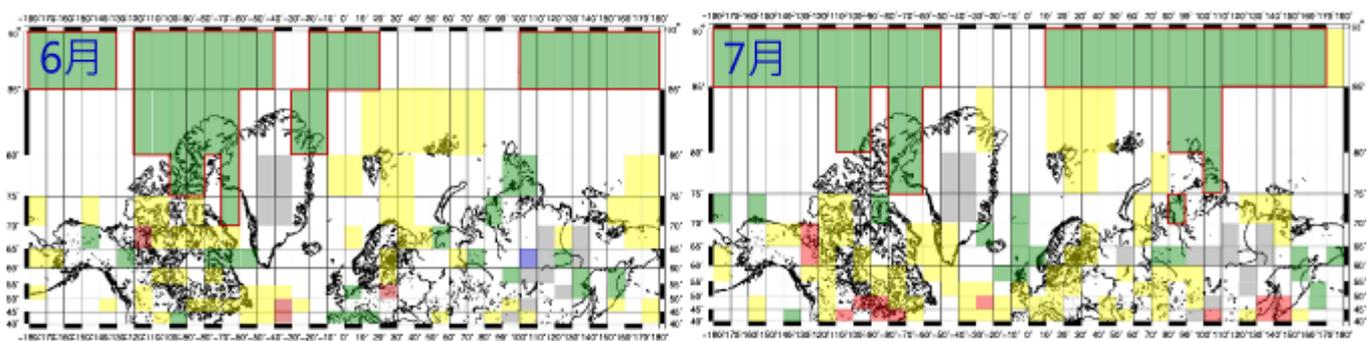
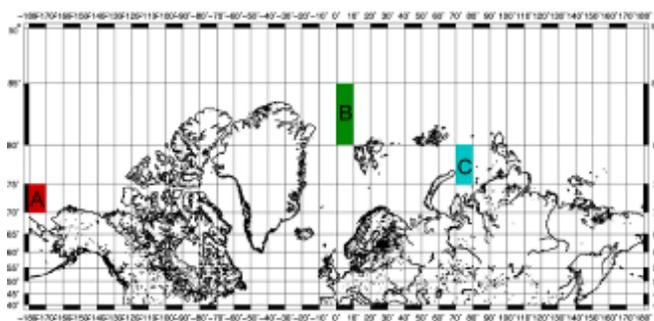


圖 6-3 6 月、7 月北極海 AOI 與海溫距平中度負相關海域(紅色框線)

表 6-3 三區海域月均海溫表(2004-2013 年)

A 海域月均海溫 (°C)		B 海域月均海溫 (°C)		C 海域月均海溫 (°C)				
月份	海溫	月份	海溫	月份	海溫	海域	經度範圍	緯度範圍
1 月	0.134	1 月	0.831	1 月	0.147			
2 月	0.820	2 月	0.844	2 月	0.144			
3 月	0.046	3 月	0.912	3 月	0.168			
4 月	0.232	4 月	0.706	4 月	0.176			
5 月	0.698	5 月	0.779	5 月	0.413			
6 月	1.306	6 月	0.768	6 月	1.046			
7 月	3.781	7 月	1.192	7 月	2.579	A	西經 170 度-西經 180 度	北緯 70 度-北緯 75 度
8 月	3.311	8 月	1.170	8 月	3.477			
9 月	2.524	9 月	0.973	9 月	2.728	B	經度 0 度-東經 10 度	北緯 80 度-北緯 85 度
10 月	1.478	10 月	0.928	10 月	1.079			
11 月	0.715	11 月	1.030	11 月	0.380			
12 月	0.265	12 月	1.017	12 月	0.194	C	東經 70 度-東經 80 度	北緯 75 度-北緯 80 度



● 黃色網底為海水均溫超過 1°C 海域

3. 巴芬灣(Baffin Bay)(拉布拉多寒流及西格陵蘭暖流流經)深秋、冬季、初春、夏季：

(1)AOI 與海溫距平呈現負相關月份：如圖 6-4，11 月至隔年 3 月 AOI 與海溫距平負相關大規模出現巴芬灣海域，以 11 月最為明顯，甚至影響範圍達北緯 40 度。代表深秋到初春北極震盪暖相位時，巴芬灣相對低溫，代表冬季時拉布拉多寒流有增強的趨勢。

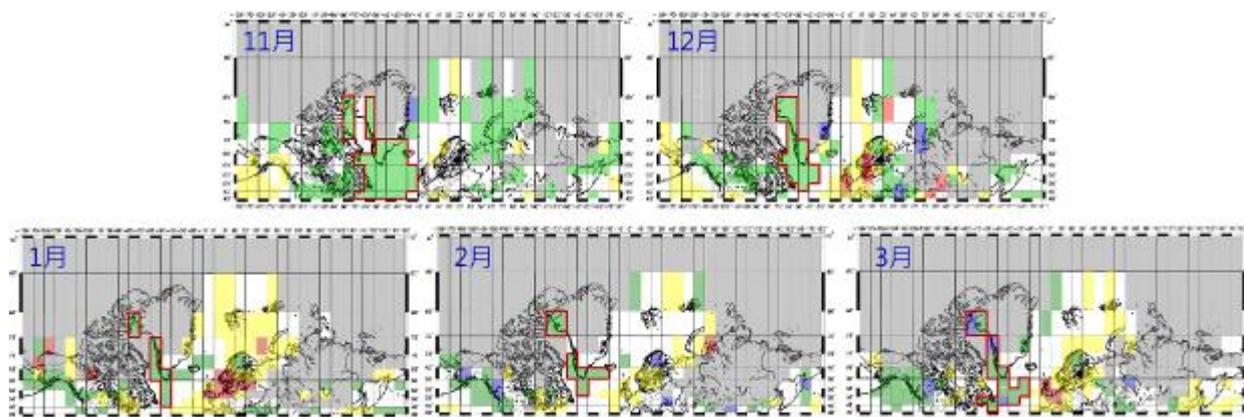


圖 6-4 11 月至隔年 3 月巴芬灣 AOI 與海溫距平中度負相關以上海域(紅色框線)

(2)AOI 與海溫距平呈現正相關月份：如圖 6-5，7 月至 8 月 AOI 與海溫距平正相關大規模出現巴芬灣海域，尤其是 7 月份，可能代表夏季當北極震盪暖相位時西格陵蘭暖流有增強的趨勢。

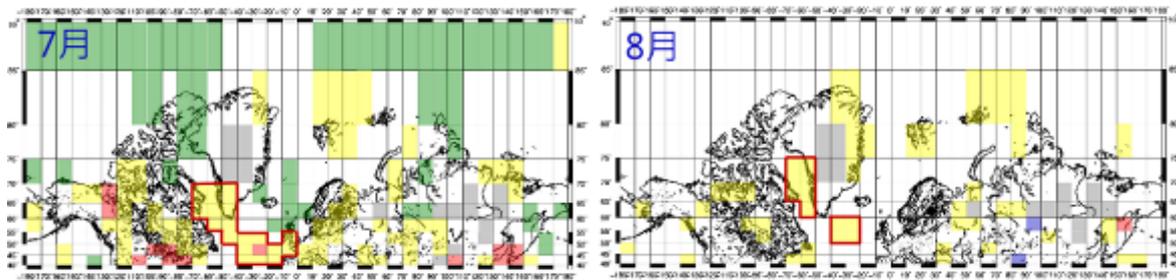


圖 6-5 7 月至 8 月巴芬灣 AOI 與海溫距平中度負相關以上海域(紅色框線)

4. 阿拉斯加南側(阿拉斯加暖流流經)秋季、冬季：

(1)AOI 與海溫距平呈現負相關月份：如圖 6-6，10 月及 1 月至 3 月，AOI 與海溫距平負相關大規模出現阿拉斯加南側海域，代表秋、冬季當北極震盪暖相位時阿拉斯加暖流有減弱的趨勢。

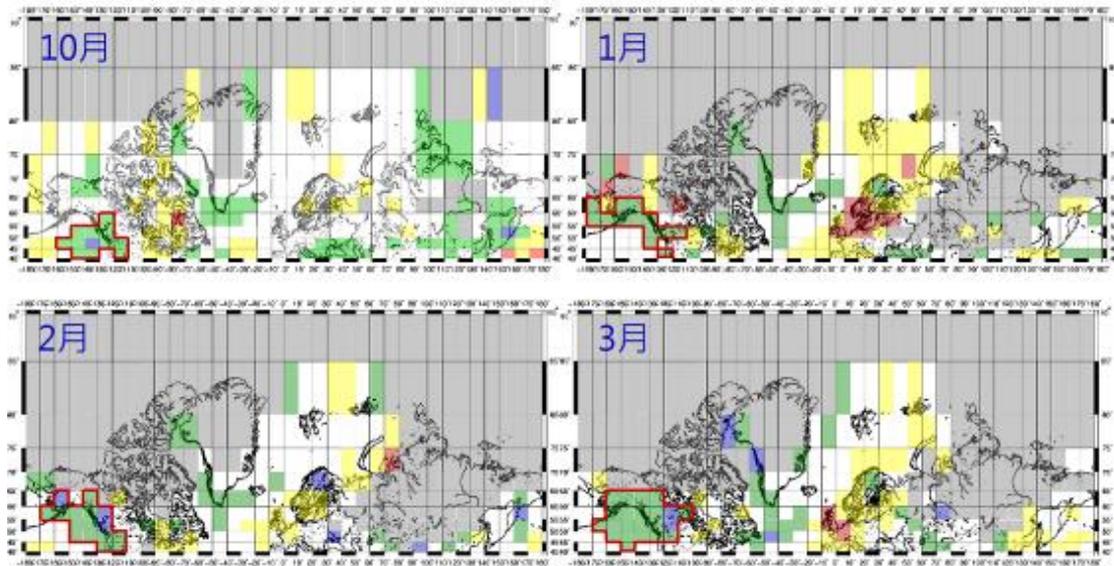


圖 6-6 10 月及 1 月至 3 月阿拉斯加南側 AOI 與海溫距平中度負相關以上海域(紅色框線)

(2)AOI 與海溫距平呈現正相關月份：如圖 6-7，11 月、12 月，AOI 與海溫距平正相關大規模出現阿拉斯加南側海域，代表秋、冬交界兩個月，當北極震盪暖相位時阿拉斯加暖流有增強的趨勢。推測原因可能和阿留申低壓有關，因為北極震盪暖相位時，極地渦旋有增強的趨勢，可能使阿留申低壓增強，低壓中心逆時針旋轉，造成阿拉斯加暖流增強，暖水北上，使 AOI 與海溫距平值呈現正相關。

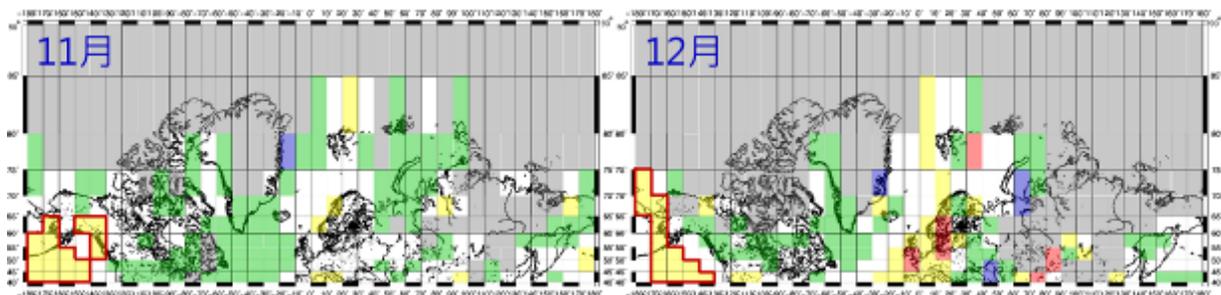


圖 6-7 11 月及 12 月阿拉斯加南側 AOI 與海溫距平中度正相關以上海域(紅色框線)

三、北緯 40 度以北分區海域海溫距平與 AOI 相關性探討：

(一)分區 AOI 值與海溫距平值相關性統計：

依據圖 5-6 各月份 8 區 AOI 值與海域海溫距平值相關性統計如表 6-4：

表 6-4 各月份 8 區海域海溫距平值與 AOI 值相關性統計表

	正相關			負相關		
	絕對 1/2	絕對 1/3	相對 1/2	絕對 1/2	絕對 1/3	相對 1/2
1 月	Ⅲ VI		VII		I	
2 月					I	V
3 月		Ⅲ、Ⅷ		I		V
4 月	Ⅷ	VII			II	
5 月	Ⅷ					
6 月	VI	II		IV		
7 月	II	Ⅲ VI		IV		
8 月						
9 月						
10 月					I、Ⅷ	
11 月	I			II		VI VII
12 月		I Ⅲ			II	VII
出現	VI(2) Ⅷ(2) I(1) II(1) Ⅲ(1)	Ⅲ(3) II(1) VI(1) VII(1) Ⅷ(1)	VII(1)	IV(2) I(1) II(1)	I(3) II(2) Ⅷ(1)	V(2) VII(2) VI(1)
總合	Ⅲ(4)、VI(3)、Ⅷ(3)、II(2)、VII(2)、 I(1)			I(4)、II(3)、IV(2)、V(2)、VII(2)、 VI(1)、Ⅷ(1)		

1. 依據分月海域 AOI 與海溫相關性情況：

(1) 具相關性較少海域月份：5 月、8 月、9 月緯度 40 度以北分區海溫距平值與 AOI 值，8 區海域均較無相關性。

(2) 具相關性較多海域月份：1 月 7 月、11 月、12 月緯度 40 度以北分區海溫距平值與 AOI 值，4 區海域出現大規模相關；3 月及 6 月 2 區海域出現大規模相關。

2. 依據分區海域 AOI 與海溫相關性情況：

(1) 正相關性海域：兩月份以上有*Ⅲ《4(1、3、7、12 月)》、VI《3(1、6、7 月)》、Ⅷ《3(3、4、5 月)》、II《2(6、7 月)》、VII《2(1、4 月)》。

(2) 負相關性海域：兩月份以上有 I《4(1、2、3、10 月)》、II《3(4、11、12 月)》、IV《2(6、7 月)》、V《2(2、3 月)》、VII《2(11、12 月)》。

(3) 正負相關均達 2 個月以上海域：

II《2(6、7 月)-3(4、11、12 月)》、VII《2(1、4 月)-2(11、12 月)》。

●註：Ⅲ《4(1、3、7、12月)》代表Ⅲ區，4個月份，分別為1、3、7、12月。

(二)AOI 值與海溫距平相關性海域特性及影響推論：

依據表 6-4，統計 AOI 與不同海域海溫距平相關性，繪製成圖 6-8，圖中紅色(■)為持續維持正相關海域；藍色(■)為持續維持正相關海域；正負相關均達 2 個月以上海域加綠色(■)。由此推論當 **AOI 值為正**，即**北極震盪暖相位時**，各海域特性如下。

1. 均正相關區域：

- (1)Ⅲ歐洲西岸大西洋東岸(1月、3月、7月、12月)、Ⅵ歐洲北部北極海域(1月、6月、7月)海溫較暖，推測北大西洋暖流較強。
- (2)Ⅷ白令海西側海域春季(3月、4月、5月)海溫較暖，也推測千島寒流相對較弱。

2. 均負相關區域：

- (1)Ⅰ北美西岸阿拉斯加南(1月、2月、3月、10月)海溫較冷，推測阿拉斯加暖流較弱。
- (2)Ⅳ北極海緯度 85 度以上夏季(6月、7月)海溫較冷，推測與夏季融冰，冷淡水覆蓋有關。
- (3)Ⅴ北美北部北極海域冬季(1月、2月)海溫較冷。

3. 正負相關均達 2 個月以上海域：

- (1)Ⅱ北美東岸大西洋西岸夏季(6月、7月)海溫較暖，推論拉布拉多寒流較弱或西格陵蘭暖流較強。4月、11月、12月海溫較冷，推論拉不拉多寒流較強或西格陵蘭暖流較弱。
- (2)Ⅶ西伯利亞北部北極海域夏季(6月、7月)海溫較冷，推測與夏季融冰，冷淡水覆蓋有關。1月、4月海溫較暖。

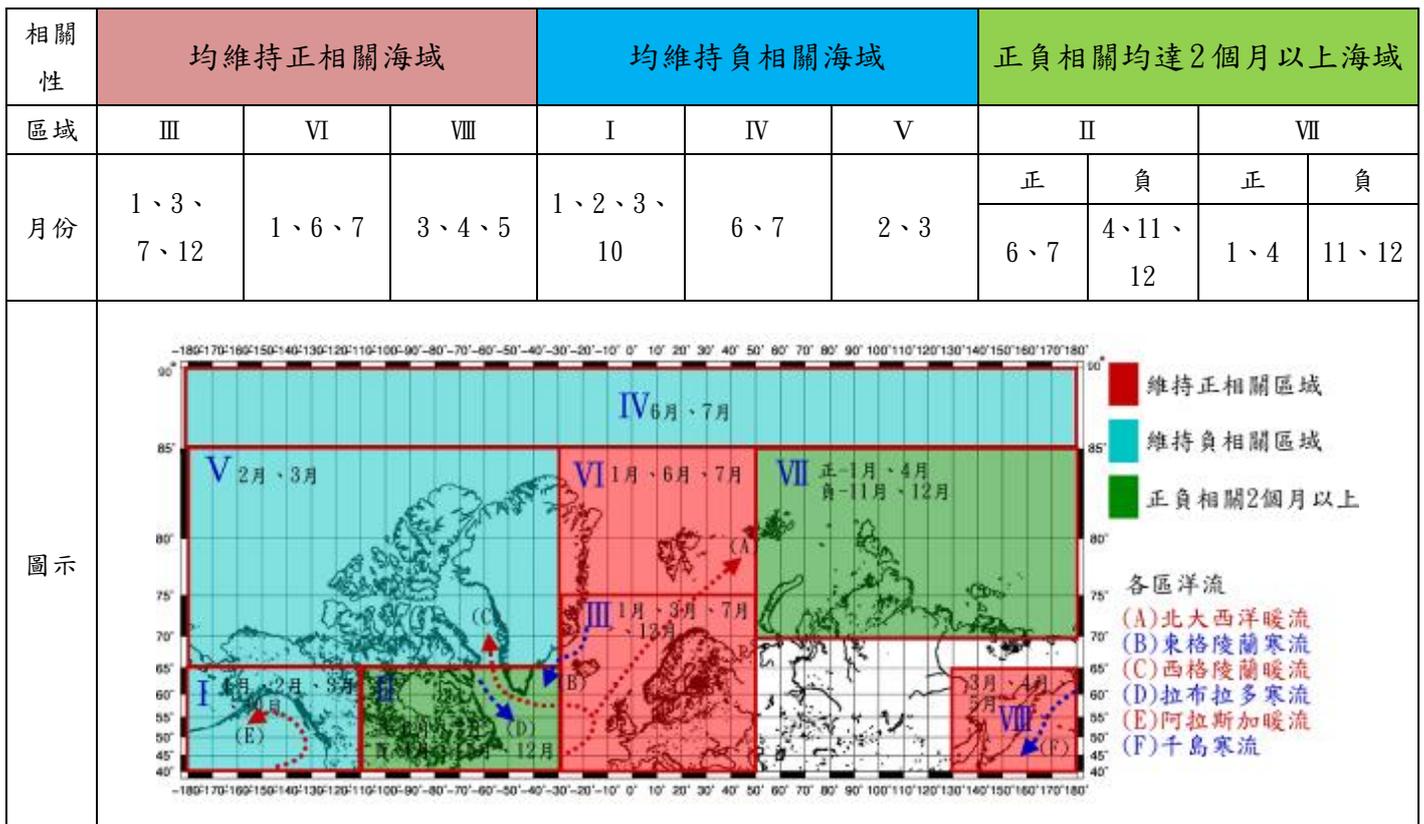


圖 6-8 AOI 與分區海域相關性圖

(三)推論北極震盪(AOI)暖相位時海流強弱變化及區域海溫變化：

當**北極震盪值(AOI)為正**時，即**暖相位**時。

1. 海流強弱變化：

- (1)可能增強海流：1月、3月、6月、7月、12月的北大西洋暖流，推論 AOI 暖相位，NAOI 為正，副極地低壓可能增強，造成西風增強，引發北大西洋暖流增強；4月、11月、12月的拉不拉多寒流；

6月、7月的西格陵蘭暖流。

(2)可能減弱海流：春季(3月、4月、5月)的千島寒流；1月、2月、3月、10月的阿拉斯加暖流；6月、7月的拉不拉多寒流；4月、11月、12月的西格陵蘭暖流。

2. 區域海溫變化：

(1)可能海溫相對上升海域：1月、4月西伯利亞北方北極海域。

(2)可能海溫相對下降海域：1月、2月的北美北方北極海域；6月、7月北極海緯度85度以上海域及西伯利亞北部北極海域，此區海域低溫推測和夏季融冰有關，也有可能在北極震盪暖相位時，低溫空氣被封鎖在極區內，造成低溫有關。

(四)AOI 指數異常與風速、風向資料進行對比檢視：

1. 檢測方式說明：

表 6-5 針對 AOI 值異常(一個標準差以上)月份進行檢視，區分正異常與負異常。對比 2004 年至 2009 年北大西洋(0-70W、40N-70N)、阿拉斯加南側(130W-160W、40N-50N)、千島附近海域(150E-170E、40N-60N)，風速、風向進行統計分析，計算出風速、風向，在平均值與一個標準差間標+，一個標準差以上月份標上++；在平均值與負一個標準差間標-；一個標準差以下月份標--。依據圖 6-8 相關性月份加入括號標示()。

進行風速檢測方式為數值在平均值和正 1 個標準差間時標示 1 個 0(即 0)，正 1 個標準差以上時標示 2 個 0(即 00)，在平均值和負 1 個標準差間時標示 1 個 X(即 X)，正 1 個標準差以下時標示 2 個 X(即 XX)。因風吹向為向量 360 度記錄呈現，正代表風吹向逆時針向東吹，為偏西風；負代表方向順時針向西吹，為偏東風。故數值在平均值和正 1 個標準差間時標示 1 個東，正 1 個標準差以上時標示 2 個東，在平均值和負 1 個標準差間時標示 1 個西，正 1 個標準差以下時標示 2 個西。

最後統計三區海域在 AOI 正負異常時風速及風向之異常偏向，區分為具相關性月份檢測與全數 AOI 異常月份檢測。結果呈現分母為檢測月份數，分子為出現數統計，如*5/4，即在檢測 4 個月中有 5 個 0。再將檢測數等於或超過的月份的數據標示黃色，代表為 AOI 異常時較常出現的情況。

2. 風向、風速檢視結果討論：

(1)北極震盪發生異常正(暖)相位時，北大西洋西風增強：

由表 6-5 可見當 AOI 值正異常(北極震盪暖相位)，可見北大西洋上風速較快，且方向偏向西風。符合先前推論當北極震盪暖相位時，西風較強的特性，且檢視負向位時亦符合此結果。證實北極震盪暖相位時會使西風增強，可能與副熱帶高壓強度增強有關，如此有利於反聖嬰現象的發生。

(2)阿拉斯加南部及千島群島附近海域，風速與風向與北極震盪異常較無明顯相關性：

由表 6-5 檢測可見，阿拉斯加、千島附近海域風向風速，AOI 值正負異常時檢測無明顯趨勢。但本檢視表僅使用 2004 年至 2009 年風速風向資料進行統計分析檢測，且選取區域經緯度大，可能造成結果不如預期。未來可選取較長時間及較多小區域資料分析檢視，應會有較多的發現。

表 6-5 AOI 異常時北大西洋、阿拉斯加南側、千島海域上風向風速檢測表

AOI 正異常		風速						風向					
年	月	北大西洋 (正相關)		阿拉斯加 (負相關)		千島 (正相關)		北大西洋 (正相關)		阿拉斯加 (負相關)		千島 (正相關)	
		2004	12	(+)	0	-	X	+	0	(+)	東	+	東
2006	6	(+)	0	-	X	-	X	(--)	西西	--	西西	-	西
2007	1	(+)	0	(+)	0	--	XX	(-)	西	(-)	西	--	西西
2007	3	(++)	00	(-)	X	(+)	0	(-)	西	(+)	東	(++)	東東
2008	10	++	00	(-)	X	--	XX	--	西西	(-)	西	+	東
2009	5	++	00	--	XX	(-)	X	--	西西	+	東	(-)	西
0 西	具相關性 月份檢測	*5/4		1/3		1/2		西 4/4		西 2/3		西 1/2	
	全數檢測	9/6		1/6		2/6		西 8/6		西 4/6		西 4/6	
X 東	具相關性 月份檢測	0/4		2/3		1/2		東 1/4		東 1/3		東 2/2	
	全數檢測	0/6		6/6		6/6		東 1/6		東 3/6		東 4/6	
負異常		風速						風向					
年	月	北大西洋 (正相關)		阿拉斯加 (負相關)		千島 (正相關)		北大西洋 (正相關)		阿拉斯加 (負相關)		千島 (正相關)	
		2004	1	(-)	X	(-)	X	-	X	(+)	東	(+)	東
2004	2	-	X	(+)	0	++	00	+	東	(-)	西	+	東
2005	2	--	XX	(--)	XX	-	X	++	東東	(+)	東	+	東
2005	3	(--)	XX	(-)	X	(+)	0	(++)	東東	(--)	西西	(-)	西
2005	12	(--)	XX	-	X	++	00	(++)	東東	--	西西	++	東東
2006	3	(-)	X	(++)	00	(+)	0	(+)	東	(++)	東東	(--)	西西
2007	2	++	00	(++)	00	--	XX	+	東	(-)	西	+	東
2008	5	--	XX	--	XX	(-)	X	++	東東	--	西西	(+)	東
2009	6	(-)	X	-	X	--	XX	(++)	東東	-	西	+	東
2009	7	(+)	0	--	XX	+	0	(+)	東	++	東東	--	西西
2009	10	-	X	(-)	X	+	0	+	東	(--)	西西	+	東
0 西	具相關性 月份檢測	1/6		5/7		2/3		西 0/6		西 6/7		西 3/3	
	全數檢測	3/11		5/11		8/11		西 0/11		西 11/11		西 5/11	
X 東	具相關月份 檢測	7/6		5/7		1/3		東 9/6		東 4/7		東 1/3	
	全數檢測	13/11		11/11		7/11		東 16/11		東 6/11		東 9/11	

柒、結論

- 一、統計 AOI、SOI 標準差與異常月份，發現 AOI、SOI 標準差在冬季較大變異範圍較大。AOI、SOI 較為不穩定，容易產生極端數值，透過 AOI 異常月份統計，異常月份大都集中在冬季月份，可得知冬季高緯區域極端天氣較容易出現。
- 二、分析 AOI 與海溫相關係數發現夏季北極海出現大規模的負相關，代表北極海海溫相較平常低溫，推測當 AO 為正相位時，冷空氣被封鎖極區有關或與夏季海冰消融有關。
- 三、統計分區海域海溫距平值與 AOI 相關係數，發現歐洲西岸出現全區 1/2 以上單位區域為中度正相關，推測 AOI 為正相位時，北大西洋海溫上升，暖流有增強趨勢。
- 四、透過風場強度、方向與 AOI 異常月份，進行分區檢測，在歐洲西岸發現當 AOI 為正異常時，風場有增強趨勢且偏西風；負異常則相反。證實當 AOI 為正異常時，NAOI 為正值時，副熱帶高壓增強造成西風增強，北大西洋暖流進而增強。
- 五、目前僅以統計學方式來進行分析，未來希望透過能量轉換的角度切入研究，更進一步的探討 AO 與海溫之間的交互關係，以對大氣的交互作用有更進一步的貢獻。

捌、參考資料

許晃雄、吳清吉、林博雄(民 93) 九十三會計年度教育部「92-95 基礎科學教育改進計畫」

馬斯特斯(Jeff Masters) 翻譯/張雨青 北極暖化 全球震盪 科學人雜誌 2014 年 12 月號

劉廣英 從極地渦旋論析極端氣候威脅青年日報(民 103 年 2 月 5 日)

<http://www.youth.com.tw/db/epaper/es008006/g1030505-a.htm>

鄭明典 2012.11.29 東森新聞雲 北極震盪致最冷寒冬襲英不一定百年最冷

<http://www.ettoday.net/news/20121129/133359.htm>

維基百科 <http://zh.wikipedia.org/>

華盛頓大學 環境學系網站

<http://jisao.washington.edu/wallace/natgeo/ArcticSubart.pdf>

國立海洋大學海洋教育網

http://sea.ntou.edu.tw/01oceanandme/oceanandme02_02.php

澳洲氣象局網站 Monthly Southern Oscillation Index, Bureau of Meteorology National Climate Centre Climate Analysis Section. <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>

美國海洋暨大氣總署網站 <http://www.ncdc.noaa.gov/>

National Weather Service Climate Prediction Center.

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao_index_ensm.shtml

【評語】 180003

針對北極震盪指數與高緯度海溫距平，北大西洋震盪以及南方震盪之相關性，進一步並區分討論海溫、洋流與北極震盪之連結，分析工作繁重，對其間的物理聯結也做了詳細之討論，作品內容豐富，進一步對牽涉其間之基本概念加強了解，並簡化分析項目以聚焦重要之科學論點。