

2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180012

參展科別 地球與環境科學

作品名稱 臺灣極端寒流個案與東亞地區冬季氣候之
關聯

得獎獎項 大會獎：二等獎

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 楊善茜、洪夢白

作者姓名 簡靖蓉、蔡承庭

關鍵詞 臺北寒流、1985 年前後、迴歸分析

作者簡介



我們是來自北一女中 106 級數理資優班的學生蔡承庭（左）和簡靖蓉（右）。承庭在高一時地科課時發覺自己對於地球科學的喜愛，因而決定將專研組別從資訊改為地球科學。靖蓉則是因為國中時以大氣相關的主題參加中小學科展，認為過程十分有趣且具啟發性，所以決定繼續以類似的主題作為專題研究的題目。

摘要

本研究定義 1967~2016 年的極端寒流並將其分成 1985 前與 1986 後兩個時期，進行前後期寒流個案合成之綜觀環境場的比較，得知前後期確實有所不同，且以天為單位，後期寒流及非寒流差異較不明顯，推測需要更長時間尺度才能凸顯差異。再以臺北冬溫與世界冬季的溫度、風場做相關性分析，發現緯向風的蒙古地區，在前後期正相關性都相對明顯；經向風則是西伯利亞西部的負相關在前後期皆較明顯。因此，我們分別取蒙古緯向風及西伯利亞經向風以月為單位做不同季節延遲、同步及領先的迴歸分析，並發現與臺北冬溫相關性最高者，分別為蒙古冬季同步緯向風，及西伯利亞春季領先 2 經向風。最後為了驗證，再將此二風場 1967~2016 年的數據分為寒流、非寒流期間及全部數據進行比較，觀察同個月份在寒流及非寒流期間與平均值的差別，也探討這些差異與臺北冬溫三個月份間的差異有何異同，結果證實寒流及非寒流大多具有明顯不同。

Abstract

Cold surge is an extreme cooling event associated with the strength of the East Asian winter monsoon and the variation of the Arctic Oscillation (AO) during winter season. With the southeastward movement, this winter disaster highly impacts on the East Asia and causes the huge damage in Taiwan society. Advancing the relationship between Taiwan cold surge and the East Asian climate variability is thus a necessary goal for improving the understanding and forecast of the cold surge outbreak. The daily AO Index used in this study is provided by the NOAA Climate Prediction Center (CPC) from 1967-2016. The ground-based surface temperature observed by Central Weather Bureau (CWB) and the reanalysis data from the National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) are applied to define the cold surge events and related synoptic composites. The study generally focuses on using statistical methods to evaluate the selected events associated with the East Asian climate anomalies in the years before and after 1985 based on the previous research by the Taiwan Climate Change Projection and Information Platform (TCCIP).

It is found that the cold surge occurrence and amplitude are highly correlated with the anomaly of meridional zonal wind velocity at 200 hPa (V200). In the years after 1985, the cold surge tends to have lower occurrence, but the stronger amplitude than that in the years before 1985. Based on lag-correlation analysis after 1985, the V200 anomaly in Siberia tends to lead the cold surge about 8 or 11 months in Taiwan. When Mongolia V200 anomaly decreases in January or February, the cold surge would have a great opportunity to impact Taiwan at the same time. These relationships might be involved with the variability of the Icelandic low or the North Atlantic Oscillation. It should be an interesting topic for the further investigation.

壹、研究動機

近年全球暖化的問題受到極高的重視，但我們往往聚焦在熱浪等使人明確感受到「暖化」的事件上，而忽略了冬天裡的極端事件。2016 年冬天，全臺灣的新聞版面都被一個聳動的標題佔據了—「霸王級寒流」(周柏憲, 2016/1/25)。據氣象新聞表示，當時體感溫度只有 -2°C ，新北市新店及苗栗鹿場甚至在低海拔區出現了積雪。寒流的到來更造成了傷亡。根據消防局統計，這場寒流奪走了多條人命，多數為因低溫導致心臟疾病的老年人。在經濟方面，農委會統計指出，農林漁牧及民間設施損失至少逾 7.6 億。這使我們體悟寒流並不是高緯地區國家才有的災害，身在臺灣的我們也應該正視它。因此在本次的研究當中，我們希望能夠找出臺灣冬季寒流在氣候變遷之下發生的改變，希望能根據近年的寒流型態加以適切防範減少傷害。

貳、研究目的及研究問題

- 一、找出全球氣候變遷下，臺北冬季低溫個案與極地振盪 AO 指數的關聯。
- 二、進行東亞地區各物理量的回歸分析，找出與臺灣較為相關的地區。
- 三、進行相關性及延遲分析，找出預測臺灣寒流的參考地區。

參、研究設備及器材

個人筆電、Microsoft Office Excel 2016、Code::Blocks、Grid Analysis and Display System (GrADS)

肆、 研究過程或方法及進行步驟

- 一、文獻整理，由歷史資料(2017 臺灣氣候變遷推估與資訊平臺成果發表會(Taiwan Climate Change Projection and Adaption Information Platform，簡稱 TCCIP)，洪志誠、張智鈞，2017) 得知 1985 前後氣候有所差異，並根據以 1985 為界區分前期與後期的低溫個案。
- 二、使用中央氣象局、美國國家氣象局(National Weather Service) 氣候預報中心(Climate Prediction Center) 提供之北極振盪指數 (Arctic Oscillation Index) 以及美國國家環境預報中心/美國國家大氣研究中心之再分析資料(NCEP/NCAR Reanalysis data) 等數據，進行臺北測站的溫度與東亞地區的風場和北極振盪指數(Arctic Oscillation Index，簡稱 AO 指數) 的相關程度分析，驗證臺灣寒流個案是否符合歐美所見特性。
- 三、繪製每個個案 day0 (寒流第一天) 和 day-5 (寒流五天前) 的環境場合成圖，環境場包括海平面氣壓以及地表、850mb、500 mb、200 mb 處的溫度場。比較 1967-1985 年和 1986-2016 年之間的差異。
- 四、進行臺灣近地面冬季低溫分別與各地區在冬季的溫度、200mb 處的經向風、緯向風的相關係數迴歸分析，找出與臺灣相關性最大的區域。
- 五、分析該地區不同季節的風場在延遲、同步及領先等不同時間時與臺灣冬季溫度的相關性，並找出與臺灣相關性最高的季節及延遲時間，再將其作為預測臺灣寒流的依據。
- 五、分析該地區不同季節的風場在延遲、同步及領先等不同時間時與臺灣冬季溫度的相關性，並找出與臺灣相關性最高的季節及延遲時間，再將其作為預測臺灣寒流的依據。

伍、研究結果

一、文獻探討

在 2017 年的臺灣氣候變遷推估與資訊平臺 (TCCIP) 成果發表會上，洪志誠與張智鈞提出以臺北測站為代表統計臺灣極端寒潮事件與 AO 之相關性。洪與張指出，1950-2011 年冬季共發生 26 次極端寒潮事件，其中 20 次發生時 AO 指數為負相位，僅有 6 次發生在 AO 正相位。且大部份的極端寒潮發生於 1985/86 年以前，1985 年後冬季僅發生 3 次。又根據 Shaobo Qiao 等人 (2017) 研究指出，冬季 AO 強弱不但改變東亞地區之大氣環流的特徵，也進而影響次年夏季降雨的強弱。此種關係在 1985 年之前，與 1986 年之後亦有顯著地不同；足見 AO 強弱變化，實在影響東亞地區夏季與冬季氣候不小，隱約存在氣候變遷之現象。本研究中以 1985 年作為分隔點，探討其之前以及之後臺北地區冬季寒流特性的改變。

二、釐清各名詞所代表的現象或物理量

(一) Arctic Oscillation Index (AO 指數)

北半球中高緯度地區的寒流與極地噴流有極高的相關性，而極地噴流的強弱與走向主要由北極渦旋的分佈與強弱決定 (Sheng Ping He, Yongqi Gao, Fei Li, Huijun Wang, Yanchun He, 2017)。又極地的氣壓場決定了北極渦旋的強弱與分佈，進而影響極地噴流。這種北半球極地氣壓場變化被稱作北極振盪。在太平洋北緯 20 度以北觀測到的氣壓場變化稱為 Arctic Oscillation，簡稱 AO。

AO 指數是把所觀測到的 AO 量化的一個數值。根據美國國家氣象局 (National Weather Service) 氣候預報中心 (Climate Prediction Center，簡稱 CPC)，AO 指數是

「北緯 20 度 1000mb 處往北的向量」與「該向量在 1970~2000 年的平均值」之間相差的標準差個數。

當 AO 指數為正值時，極地噴流較強。此時北半球中高緯度的天氣系統偏好於東西向移動，極區冷空氣較不容易南下影響中緯度地區的天氣。當 AO 指數為負值時，代表極區的氣壓比較高，而中緯度的氣壓比較低，極地噴流較弱。當極地噴流較弱時，天氣系統較容易有南北方向的移動，此時極區冷空氣便容易南下影響中緯度地區的天氣。

(二) 寒流

根據中央氣象局規定，當日最低溫低於 10°C 之日期皆為寒流。然而有些時候，溫度會因為地區性的天氣現象驟降又驟升，與大尺度的氣候系統較無關。為排除這些案例，本次研究將寒流定義為臺北市每小時平均溫度低於 10°C 以下且持續 24 小時者。

(三) day 0

寒流期間的第一天

(四) day -5

由 day 0 往前回推的第五天，會取 day -5 是因為想要觀察寒流發生前與寒流發生當下的變化，而會取 5 天是關係到地球綜觀尺度 (synoptic scale) 的大氣環流結構。一般而言中緯度高空的大氣波動波長大約是 3000-10000 公里左右，大多數的長波波長大約是 5000 公里。綜觀尺度下長波水平方向的波速大約是 10 m/s，並且一定是由西向東移動。換算後其週期大概就是 5.7 天左右，實際的情況大概是 3-7 天甚至有可能最長到 10 天。由於冬季的系統較為穩定，所以一般的東北季風鋒面與寒潮受到大陸冷高壓的影響，也就是大概為 5-7 天一個週期 (James Holton & Gregory Hakim, 2012)。

（五） DJF

一次冬天當中的 12 月至隔年 2 月（例如：2018-19 年冬季的 DJF 即為 2018 年 12 月 1 日至 2019 年 2 月 28 日）期間，取 December、January 和 February 的字首字母組合簡稱之。

三、臺灣地區冬季地面溫度與 AO、高層風向風速的相關分析

（一）AO 指數與臺灣冬季地面溫度的相關性

為驗證北極的天氣系統與臺灣的溫度是否有相呼應的改變，我們分析了 AO 指數與臺北地面溫度的相關性。所使用的資料包括交通部中央氣象局臺北測站的觀測資料、CPC 所提供的北極振盪指數以及美國國家環境預報中心/美國國家大氣研究中心之再分析資料（NCEP/NCAR Reanalysis data）。

1. AO 與 1967~2018 年 DJF 平均溫度的相關性分佈圖

圖中的橫軸為 AO 月平均指數，縱軸為一季 DJF 平均溫度的標準化數值。推論兩者相關性要大必須 AO 的極大與極小值都需要在溫度偏低時才可能出現，但由本研究相關係分佈圖看來數值大小與臺北冬季的溫度關係不大。

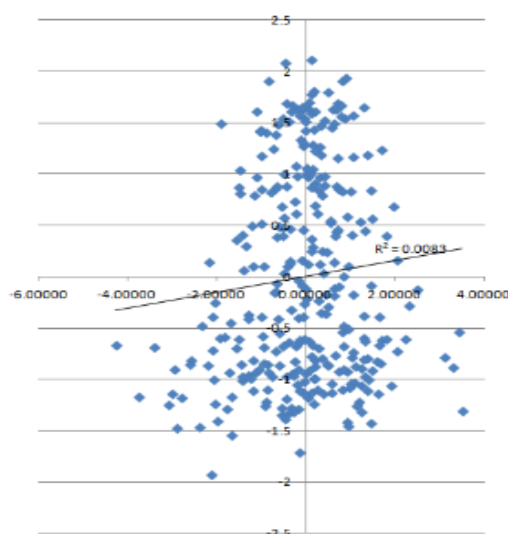


圖 1 AO 與溫度相關性散布圖

2. 1967-2018 年 AO 與溫度之秋冬時序圖（圖 2、3）

若改成將 AO 與溫度分別用折線圖呈現，便可以明顯觀察到兩者變化的正相關。因為當某年 AO 指數為波峰時，對應到的溫度標準化數值通常也是波峰，反之亦。但 AO 與溫度折線圖波形存在差異，振幅不一，導致兩者相關係數不高，且仍有例外（例如 2009 年）。

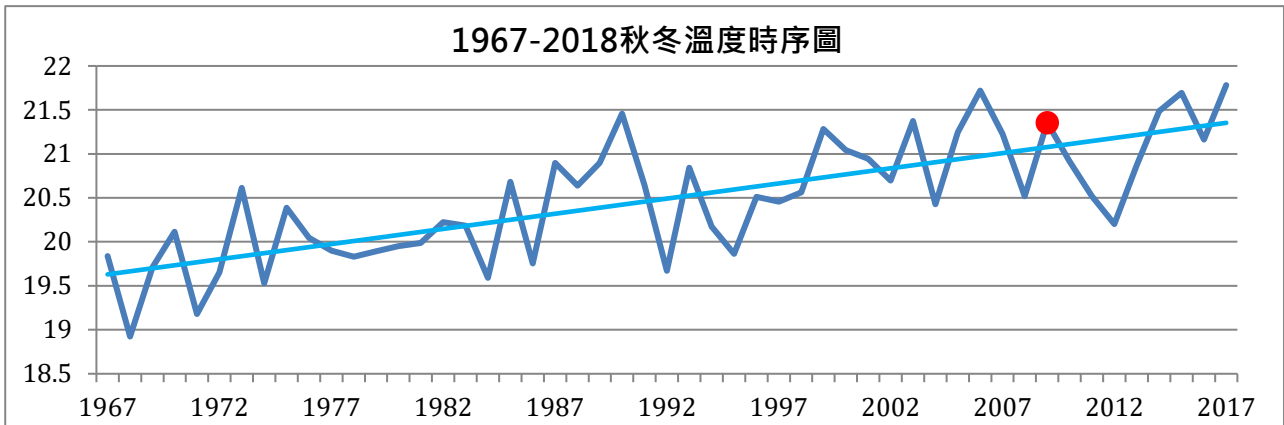


圖 2 1967-2018 年 AO 秋冬時序圖

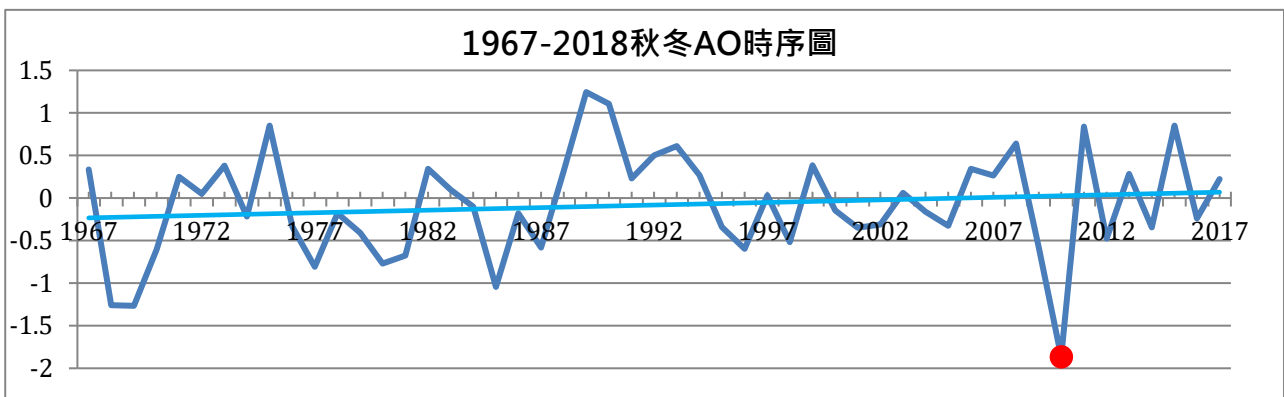


圖 3 1967-2018 年溫度秋冬時序圖

由以上圖 1 至 3 發現 AO 指數與臺北測站的溫度似乎不具太大的相關性。我們以相同的方式檢驗 AO 指數與寒流個案之 day -5 至 day 0 的相關性，其結果顯示相關係數仍然不高（前期 0.0001、後期 0.0333、全期 0.0168）。可能是由於臺北測站只是單點的資料，相較於較大尺度的噴流變化太小以致於無法明顯看出相關性。又或是因為 AO 影響的範圍主要在中高緯度地區，臺北測站位於北緯大約 25 度較不受其影響。因此接下來將根據其他的物理量進行分析。

(二) 噴流與冬季溫度變化的相關

圖 4、5 是以 DJF 的 200mb 等壓面風速風向分布圖分別顯示 1985 年前與 1986 年後噴流的狀態。由前人研究已經得知 1986 後溫度平均較 1985 前高，而噴流若與寒流或東季低溫有所關聯，則推論其位置與大小會可能會有明顯差異。由本研究分析圖顯示，1985 年前與 1986 年後的噴流雖然位置與大小沒有明顯的改變，但 1986 年後的速度大於 70 m/s 之噴流中心面積，比起 1985 年前的噴流核面積略微縮小。顯示後期較溫暖的環境場，確實對噴流造成一定的影響。

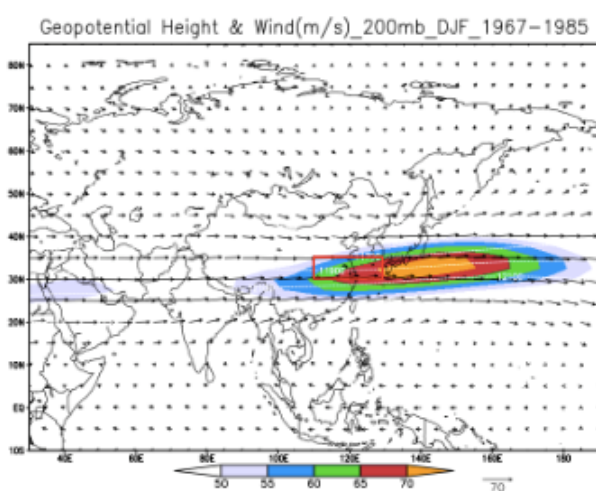


圖 4 1967-1985 年的 DJF 200mb 風速

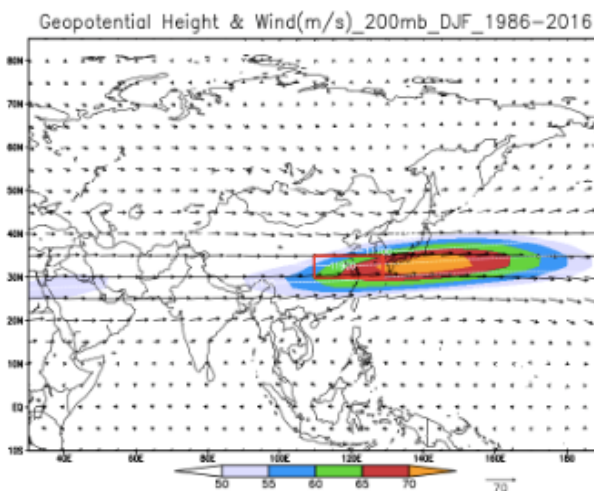


圖 5 1986-2016 年的 DJF 200mb 風速

(三) 以霍夫默勒圖及時序圖進行分析

霍夫默勒是氣象學中用於描述波動相對經緯度分布的一種作圖方式，通常橫坐標為經度或緯度，縱坐標則為時間，並通過顏色或陰影表示某個場的數值。霍夫默勒圖適合用來解析大氣或海洋中指定之物理量（如溫度、密度、濃度等）在特定的空間內隨時間變化的情況。此時，一般以時間為橫坐標，以空間位置為縱坐標。本研究擷取 200 mb 上空經度 110° -120°E 間的經向風與緯向風距平值隨時間在南北向的變化進行討論。

1. 經向風距平 (V wind anomaly)

圖 6 及圖 7 分別為 200 mb 等壓面，110° -120°E 歷年冬季經向風 (V wind) 之距平，於 1985 年前與 1986 年後之霍夫莫勒圖，顏色愈深代表其風場變換愈極端，可以觀察到高緯度地區距平值的絕對值較大。此現象與之後針對緯向風分析所得結果一致。圖中綠色代表該年在分析區域之內經向風距平值較平均值大，則可能代表南風分量增加或北風減弱，但不一定是吹南風。其距平值為負 (黃色)，則可以表示當年北風很強或南風比平均弱，冷空氣及較容易南下而造成寒流。

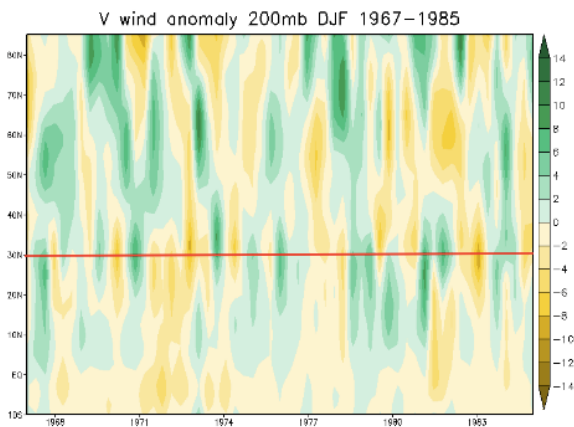


圖 6 1967-1985 年經向風霍夫默勒圖

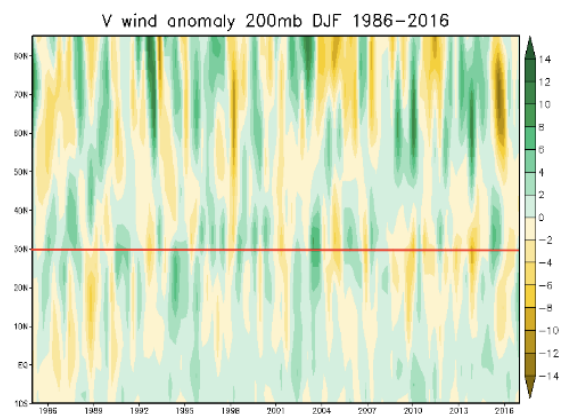


圖 7 1986-2016 年經向風霍夫默勒圖

圖 8 及圖 9 分別是前期與後期 30°N 之經向風距平的時序圖。由圖中發現折線的正負交替，經向風變動頻率 (前期 11 次/19 年，後期 16 次/31 年) 前期較高，後期較低。後期經向風變動次數較少，但振幅相對較大，顯示高緯度地區的冷空氣不易南下，但容易造成極端個案。即寒流個案較少，但產生溫度極低之個案。

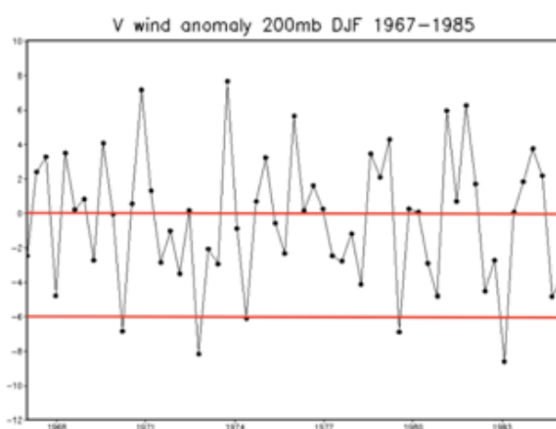


圖 8 1967-1985 年經向風時序圖

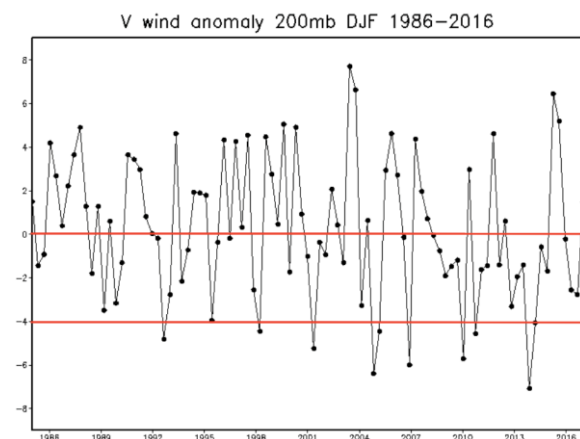


圖 9 1986-2016 年經向風時序圖

2. 緯向風距平 (U wind anomaly)

以下兩張霍夫默勒圖 (圖 10、圖 11) 為緯向風距平的連續性變化。綠色表當年此地減掉當地平均緯向風的差為正，即西風較強，黃色則反之。雖然緯向風不會直接造成寒流，然而若緯向風減弱亦可能使冷氣團南下的阻礙減少，而使中低緯較容易有寒流發生。顏色愈深代表其風場變化愈極端，可以觀察到高緯度地區距平值的絕對值較大。來由此圖可以看出幾乎每年緯向風都以緯度 30°N 為對稱軸，南北對稱，也呼應噴流位置前後期空間變動不大。

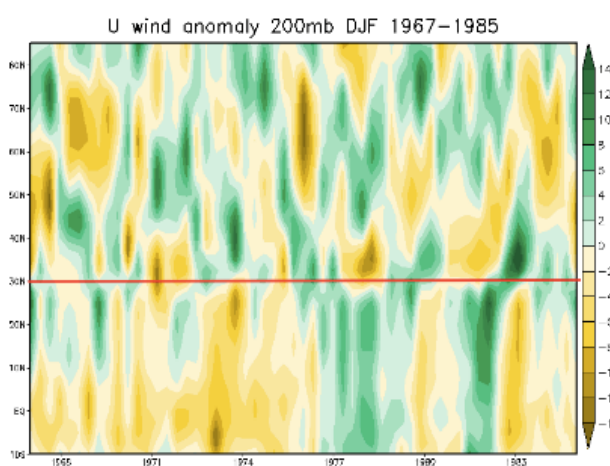


圖 10 1967-1985 年緯向風霍夫默勒圖

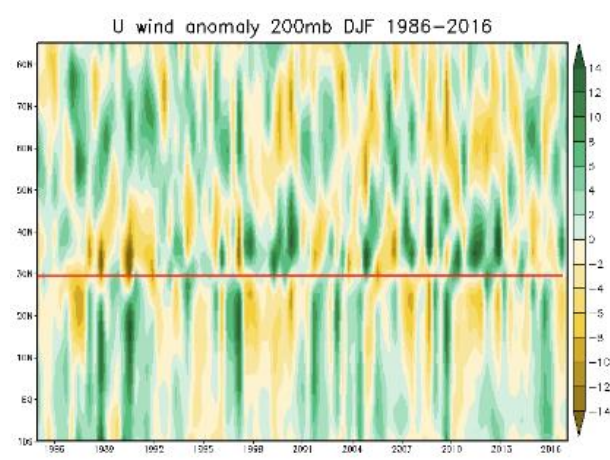


圖 11 1986-2016 年緯向風霍夫默勒圖

圖 12 及圖 13 分別為前期及後期的緯向風時序圖。理論上緯向風風向轉換頻率愈高，北方的冷空氣愈容易趁緯向風較弱的時候南下造成寒流。然而圖中緯向風風向變換的頻率反而在寒流發生頻率較低的後期較高。(前期 11 次/19 年，後期 21 次/31 年) 推測是因為高緯度地區在後期溫度上升顯著，使冷空氣即使南下也容易被緩衝。

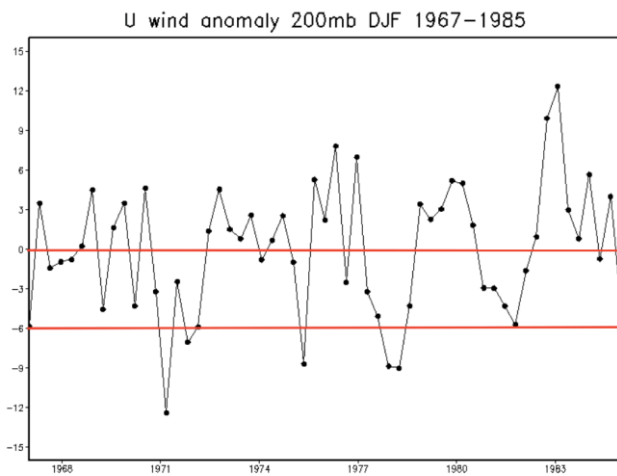


圖 12 1967-1985 年緯向風時序圖

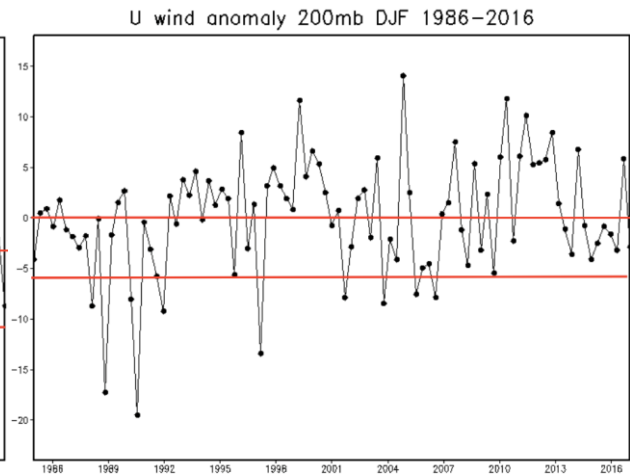


圖 13 1986-2016 年緯向風時序圖

四、篩選低溫個案

我們使用中央氣象局臺北測站的觀測資料，從 2017-2018 的冬季回推 50 年，篩選出自 1967 至 2018 年 2 月之間發生的寒流。個案日期下方斜線左邊為寒流持續的時間，斜線右邊為該次寒流期間的最低溫。又所有個案當中最低溫的是 2016 年的 1 /22-24。1967-1985 年 19 年間共發生 19 次寒流，平均一年發生一次；1986-2016 年 31 年間共發生 13 次寒流，平均約 2.5 年發生一次。本研究自訂個案日期列表如下（表 1）

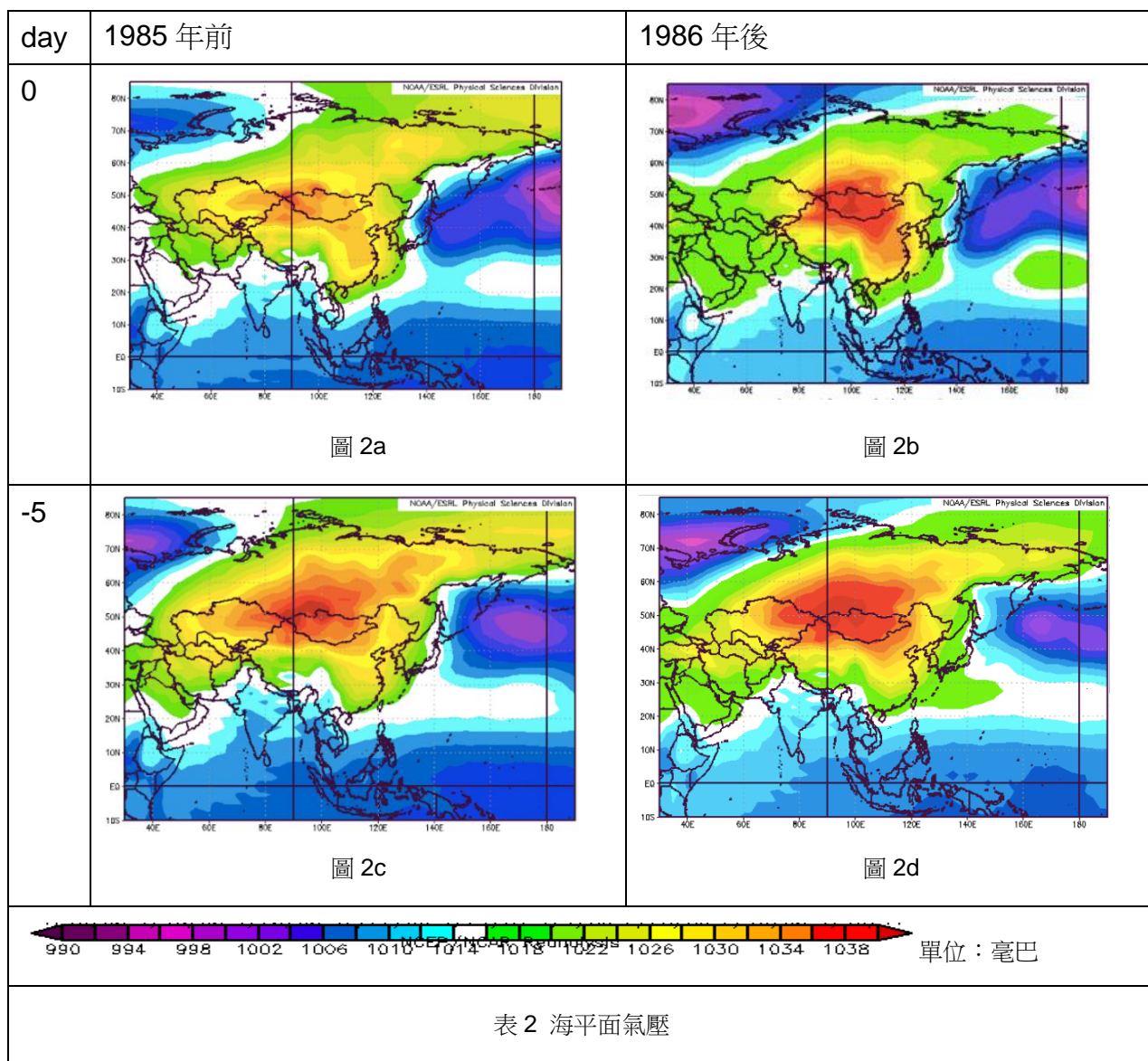
-1985 年以前 (共 19 次)			1986 年後 (共 13 次)	
1967/12/28 (44hr/5.7°C)	1973/12/24 (31hr/7.6°C)	1980/1/31 (38hr/6.0°C)	1986/2/27 (36hr/8.9°C)	2004/12/31 (36hr/7.7°C)
1968/2/19 (51hr/6.7°C)	1974/2/7 (40hr/8.0°C)	1980/2/4 (30hr/7.8°C)	1991/12/28 (29hr/6.9°C)	2005/2/19 (32hr/7.4°C)
1969/2/4 (43hr/6.2°C)	1974/2/24 (58hr/6.0°C)	1983/1/22 (24hr/9.5°C)	1993/1/15 (34hr/6.8°C)	2008/2/12 (24hr/7.9°C)
1970/1/19 (28hr/6.6°C)	1975/12/14 (36hr/7.3°C)	1984/2/6 (41hr/7.0°C)	1993/1/17 (30hr/9.2°C)	2011/1/15 (29hr/8.0°C)
1971/1/29 (59hr/8.0°C)	1978/1/18 (27hr/8.6°C)	1984/12/28 (30hr/8.3°C)	1993/1/25 (26hr/8.0°C)	2014/2/10 (36hr/8.0°C)
1972/2/9 (33hr/8.2°C)	1978/2/16 (41hr/5.4°C)		1999/12/21 (35hr/7.2°C)	2016/1/23 (61hr/4.2°C)
1972/2/27 (58hr/7.0°C)	1979/1/31 (41hr/7.1°C)		2004/1/23 (38hr/7.3°C)	

表 1 1967 年 11 月至 2018 年 2 月之間的寒流個案

五、個案 day 0 和 day -5 的環境場

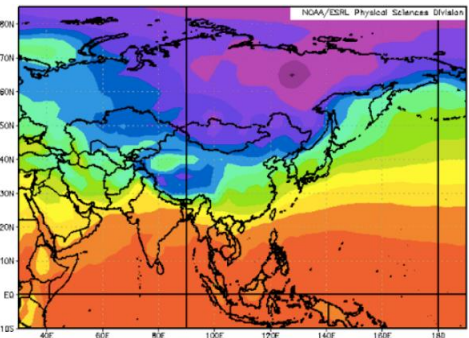
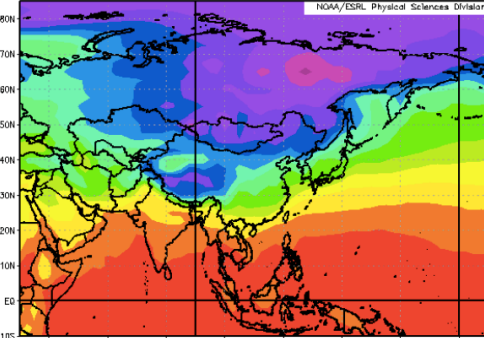
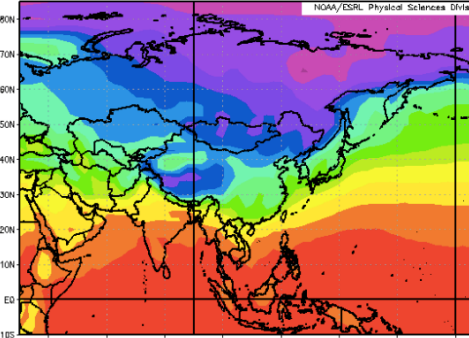
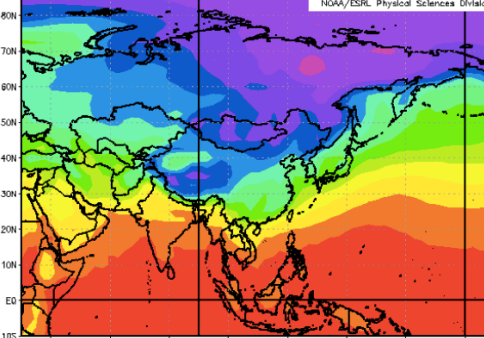
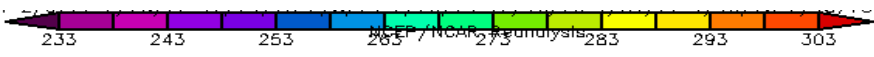
(一) 海平面氣壓 (表 2)

兩個時期當中，day 0 的高壓中心極值較 day -5 弱，且位置較接近臺灣。1986 年後高壓中心南移，故高緯度地區的海平面氣壓降低。中低緯地區在前後期的氣壓分布較沒有明顯的差異。



(二) 海平面溫度 (表 3)

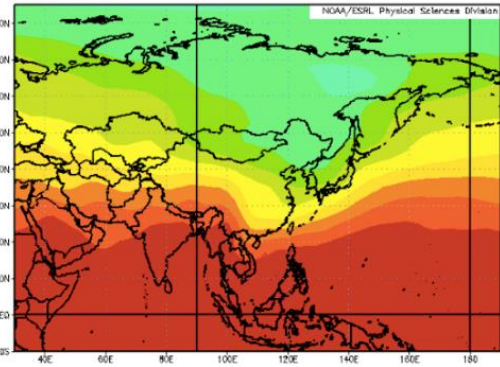
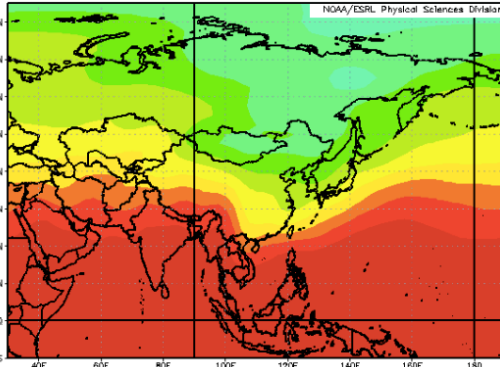
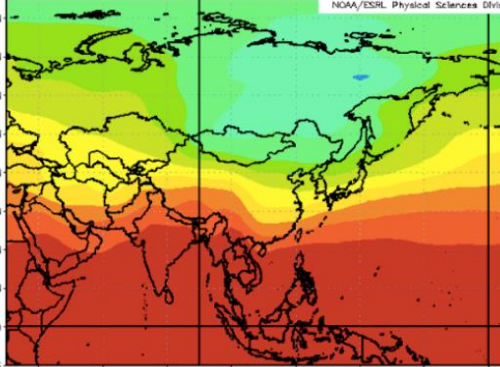
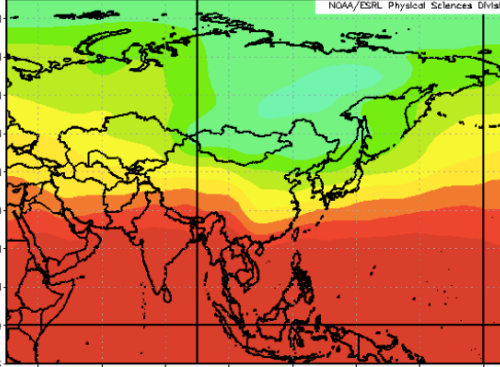
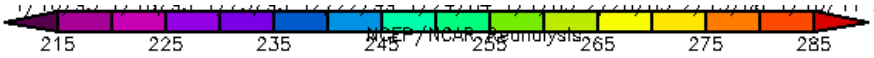
1985 年前和 1986 年後臺灣地區沒有明顯的溫度變化，但 1986 年後極區溫度明顯比 1985 年前高，day 0 或 day -5 皆是如此。

day	1985 年前	1986 年後
0	 <p data-bbox="518 1041 582 1075">圖 3a</p>	 <p data-bbox="1093 1041 1157 1075">圖 3b</p>
-5	 <p data-bbox="518 1563 582 1597">圖 3c</p>	 <p data-bbox="1093 1563 1157 1597">圖 3d</p>
 <p data-bbox="1077 1691 1268 1724">單位：克氏溫標</p>		
<p data-bbox="694 1792 901 1825">表 3 海平面溫度</p>		

(三) 850mb 的溫度 (表 4)

day 0 冷氣團南下時較集中，故高緯地區等溫線呈現 V 字形，day -5 則呈現 U 字形。

Day 0 溫度波形振幅也相對較大。前後期的波形類似，但 1985 前高緯地區的 day -5 溫度之極值較低。

day	1985 年前	1986 年後
0	 <p data-bbox="507 1122 571 1155">圖 4a</p>	 <p data-bbox="1102 1122 1166 1155">圖 4b</p>
-5	 <p data-bbox="507 1641 571 1675">圖 4c</p>	 <p data-bbox="1102 1641 1166 1675">圖 4d</p>
 <p data-bbox="1054 1794 1241 1827">單位：克氏溫標</p>		
<p data-bbox="695 1906 898 1939">表 4 850mb 溫度</p>		

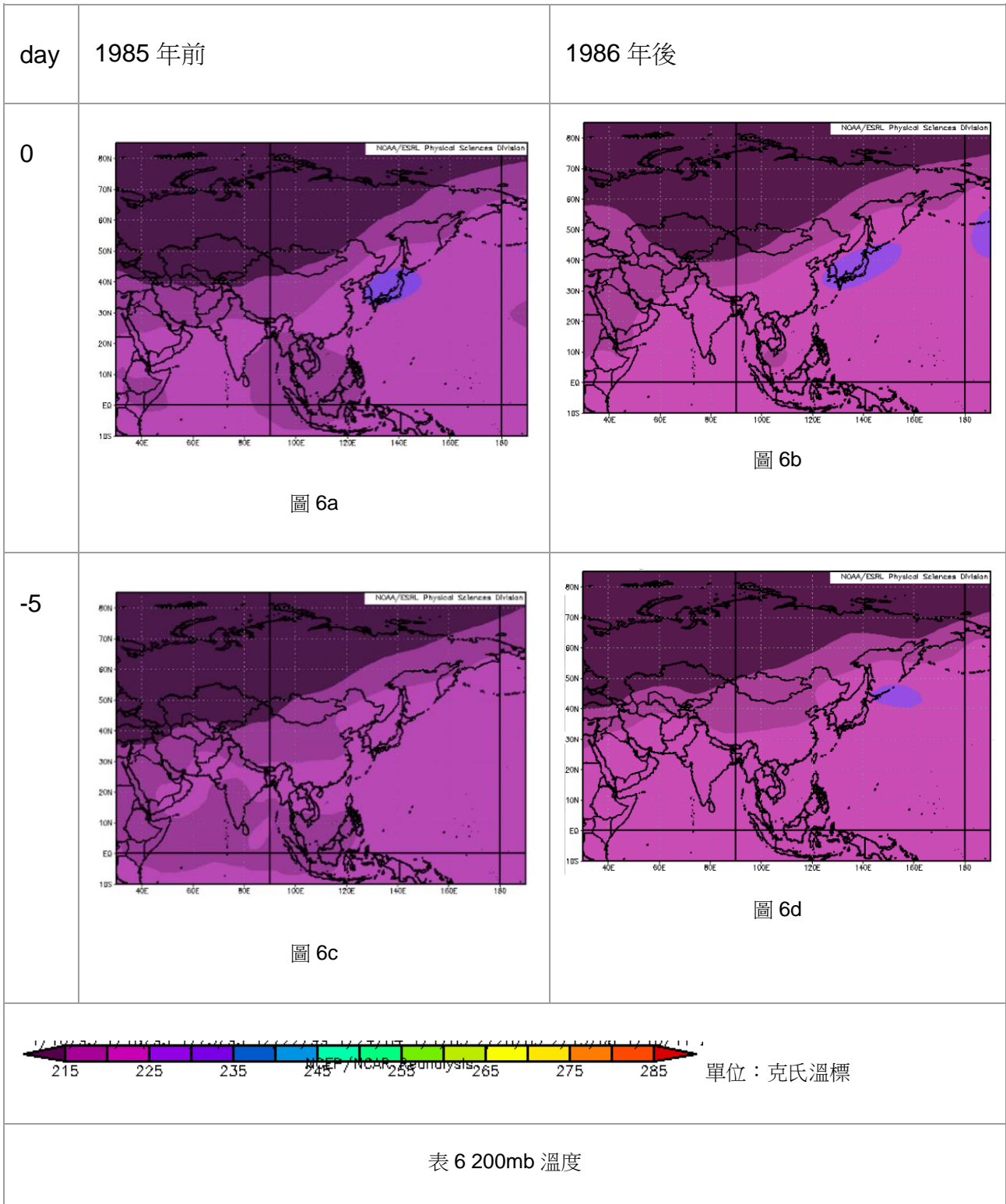
(四) 500 mb 的溫度 (表 5)

day 0 高緯地區等溫線的波谷呈現 V 字形，day -5 則呈現 U 字形。1985 年後等溫線的形狀有從 V 形趨近於 U 形的情況，振幅縮小。以 day 0 較為明顯。

day	1985 年前	1986 年後
0	<p style="text-align: center;">圖 5a</p>	<p style="text-align: center;">圖 5b</p>
-5	<p style="text-align: center;">圖 5c</p>	<p style="text-align: center;">圖 5d</p>
<p style="text-align: right;">單位: 克氏溫標</p>		
<p>表 5 500mb 溫度</p>		

(五) 200 mb 的溫度 (表 6)

比較前後期與 day 0、day -5，臺灣的溫度在這一等壓面沒有太顯著的變化。day 0 的朝鮮半島附近的溫差較大，day -5 在東經約 40 度處 215K 等溫線的緯度較低。1985 後溫度高於 225K 的範圍較廣。



由表 2 到表 6 結果可以發現在較大尺度的觀測下，1985 前後的氣候確實有所差異。高緯地區的溫度變遷尤其明顯，低溫的槽線波谷在 1986 年以後變得相對淺而寬。低溫槽的改變可能代表了北極噴流的型態改變。如果北極噴流有所變動，代表高緯度地區的氣壓較以往不穩定，可能連帶影響風向、風速，導致寒流發生的頻率有所改變。

六、臺灣地區冬季 2 公尺高溫度與全球冬季 2 公尺高溫度、經向風還有緯向風的相關係數迴歸分析

距離地表 2m 處的溫度最接近人們日常生活中的感受。因此我們在迴歸分析當中採用此物理量。

(一) 冬季臺灣地區 2 公尺高溫度與全球 2 公尺高溫度相關係數回歸分析

1. 1967-1985 年（圖 14），北半球溫度與臺灣正相關程度最高者為東亞和阿拉伯海地區，其次為白令海峽南邊及墨西哥西岸。與臺灣負相關程度最高者為北美西岸及零星的俄羅斯地區。
2. 1986-2017 年（圖 15），阿拉伯海、白令海峽、北美西岸與臺灣的溫度相關程度降低，北美西岸的最北段與臺灣的溫度相關性由稍高的負相關轉為極低的正相關。
3. 1985 年前和 1986 年後墨西哥西岸與臺灣地區的溫度相關性大約持平，俄羅斯地區的負相關則有增加。
4. 東亞地區相關係數大於 0.6 的範圍在 1986 年後縮小許多。相關係數介於 0.6 至 0.4 之間的地區則由西經將近 180 度向東延伸至西經約 160 度。

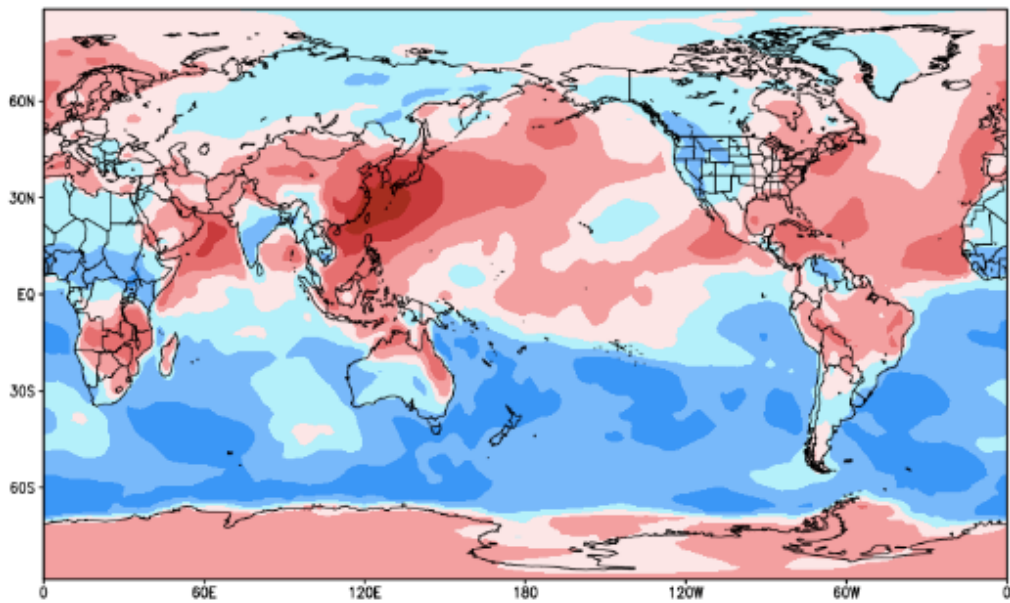


圖 14 1967-1985 年 DJF 距離地表 2 公尺處溫度相關係數回歸分析

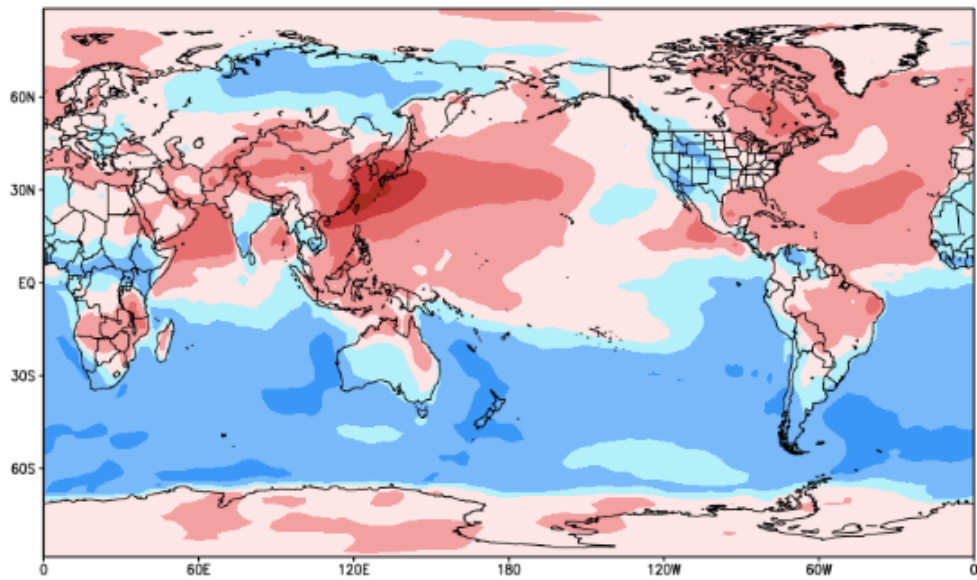


圖 15 1986-2016 年 DJF 距離地表 2 公尺處溫度相關係數回歸分析



表 7 臺灣冬溫與世界溫度迴歸分析圖

(二) 冬季臺灣地區 2 公尺高溫度與全球緯向風相關係數回歸分析

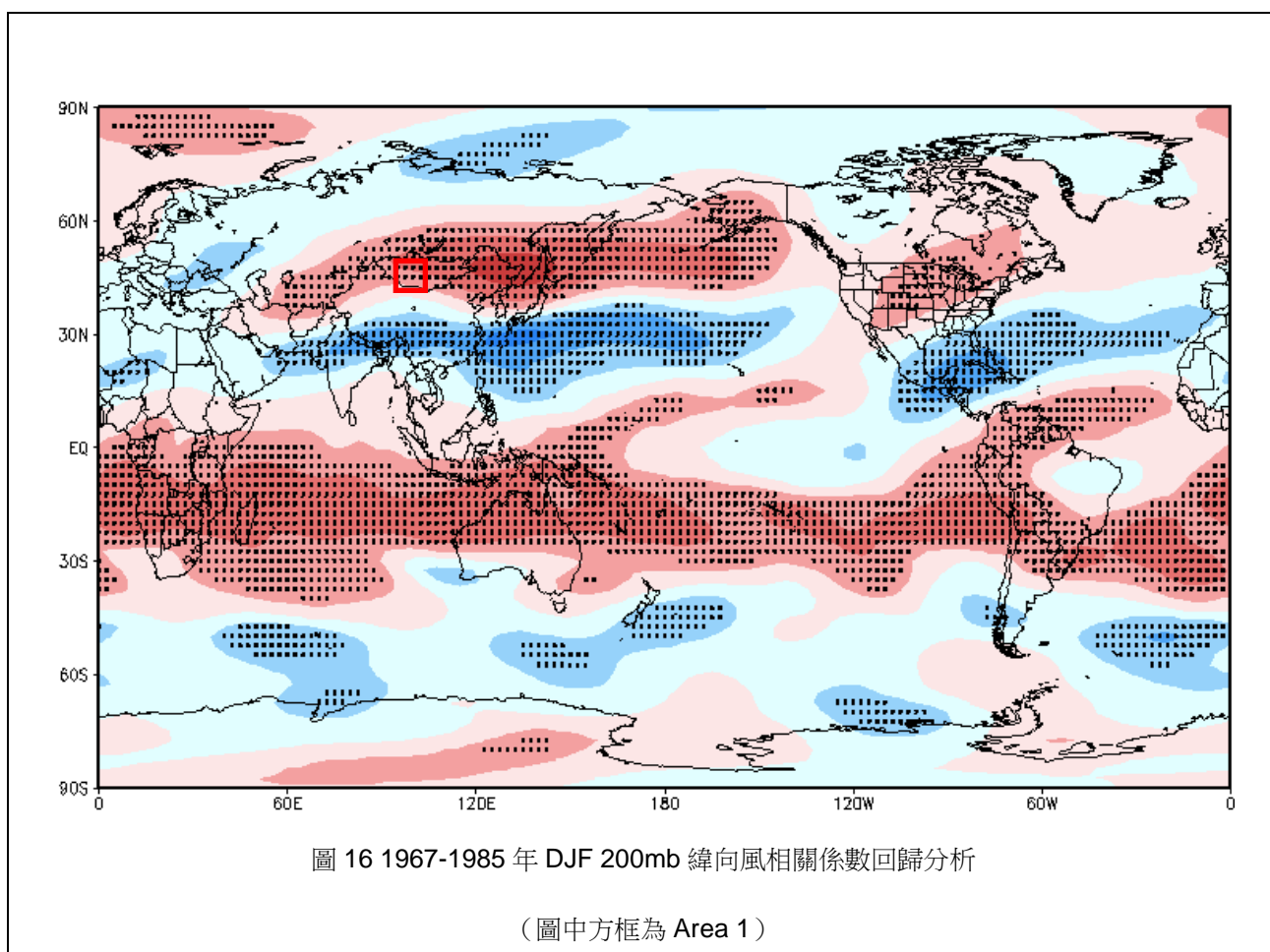
1. 同緯度地區的經向風與臺灣的緯向風與冬季臺灣地區 2 公尺高溫度的相關程度大多相近。

2. 1967-1985 年間（圖 16）與臺灣呈現較高度相關性的地區為大約北緯 45 度、東經 120-150 度處呈現較高度正相關（ $0.8 > r > 0.6$ ）。北緯 15-25 度西經 60-100 度處呈現較高度負相關（ $-0.4 > r > -0.6$ ）。

3. 北緯約 25-30 度、東經約 60 度至西經約 160 度有一連續與臺灣相關係數小於-0.4 的帶狀長條。極有可能與對臺灣較有影響的天氣系統相關。

4. 1986 至 2016 年間（圖 17）先前明顯與臺灣相關程度較高的地區的相關係數絕對值降低，但整體相關係數絕對值大於 0.4 的地區卻大幅增加。亞太地區尤其明顯。

（註：圖中 Area 1 為後文中進行延遲及領先相關性分析的地區）



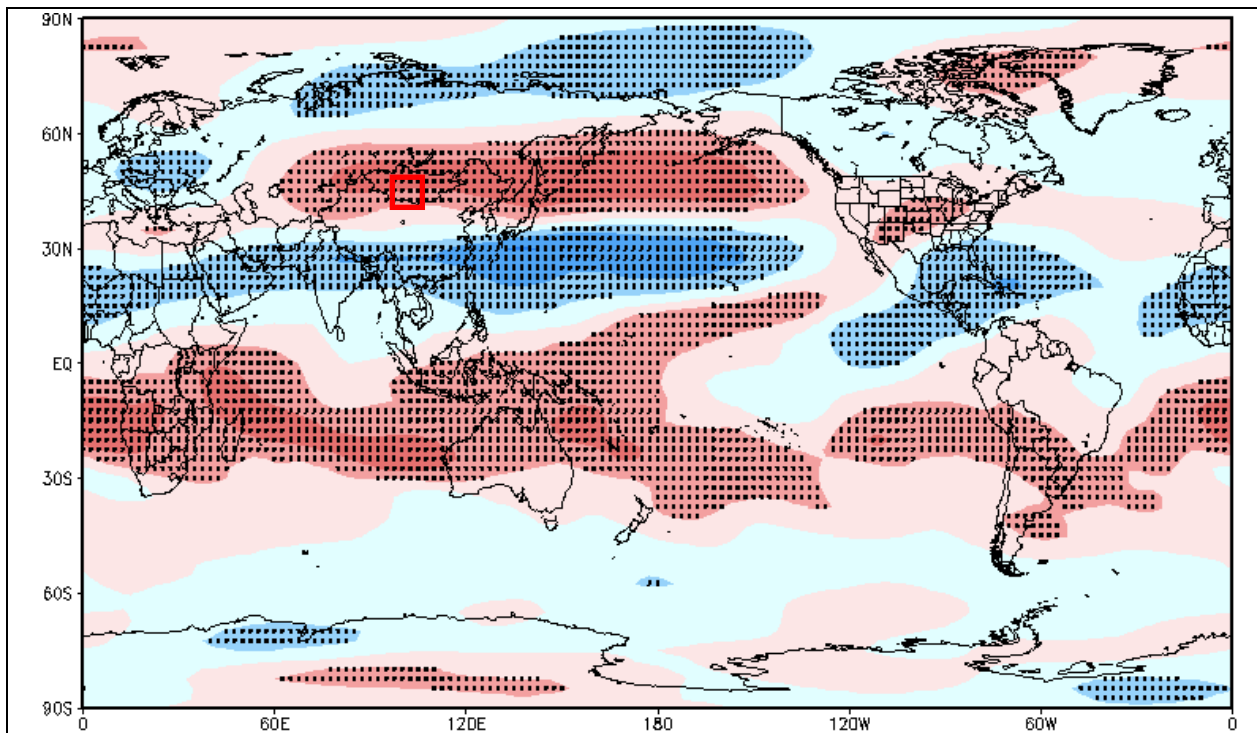


圖 17 1986-2016 年 DJF 200mb 緯向風相關係數回歸分析

(圖中方框為 Area 1)

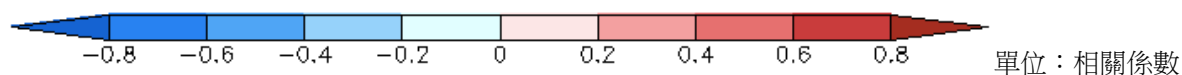


表 8 臺灣冬溫與世界緯向風迴歸分析圖

(三) 冬季臺灣地區 2 公尺高溫度與全球經向風相關係數回歸分析

1. 在 1967-1985 年之間 (圖 18)，西伯利亞北邊、太平洋西岸、阿拉斯加南邊與墨西哥南邊等區域經向風與臺灣溫度的相關係數小於-0.4。
2. 1985 前與臺灣相關係數大於 0.4 的地區不多，只有華北平原與北太平洋約北緯 30 度、西經 170-180 度處與臺灣的相關係數大於 0.4。
3. 1986-2016 年之間 (圖 19)，各地經向風的變動趨勢和臺灣緯向風與臺灣溫度的相關係數皆不超過 0.4。在東南亞、印度洋赤道附近及阿拉斯加南邊則有零星的區域緯向風與臺灣溫度的相關係數小於-0.4。

整體而言，臺灣與世界各地的經向風的變化趨勢與臺灣溫度之關係較緯向風與臺灣溫度之關係來得薄弱，且相關性仍在持續降低。

(註:圖中 Area 2 為後文中進行延遲及領先相關性分析的地區)

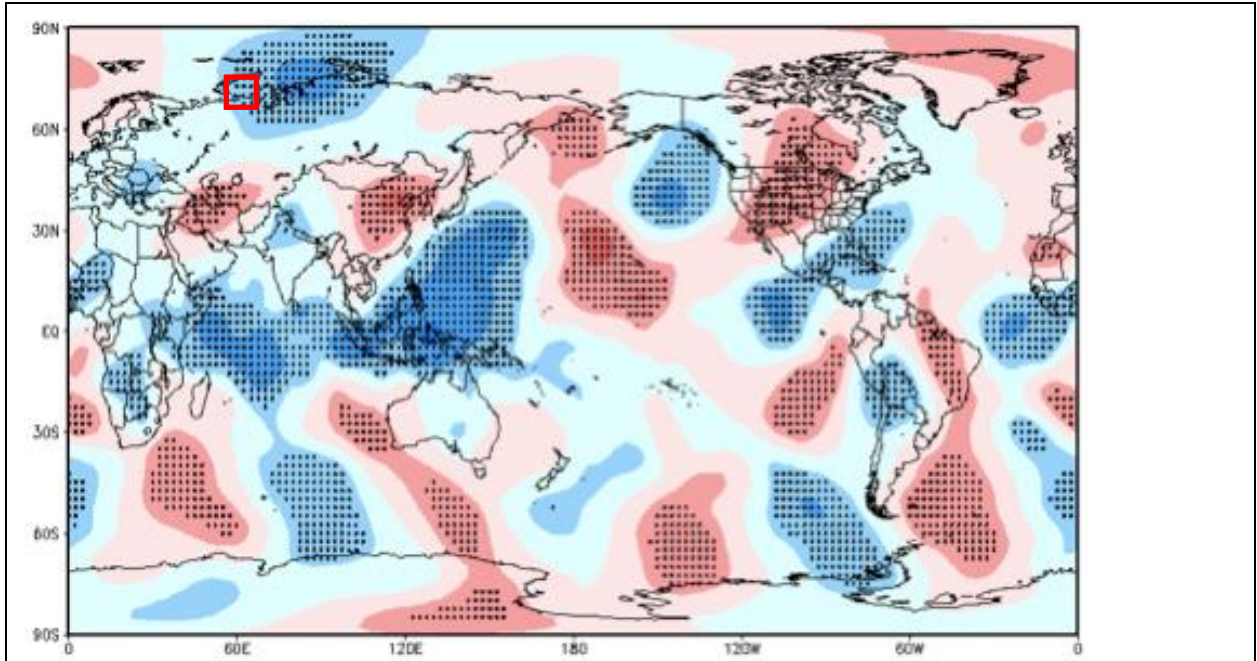


圖 18 1967-1985 年 DJF 200mb 經向風相關係數回歸分析

(圖中方框為 Area 2)

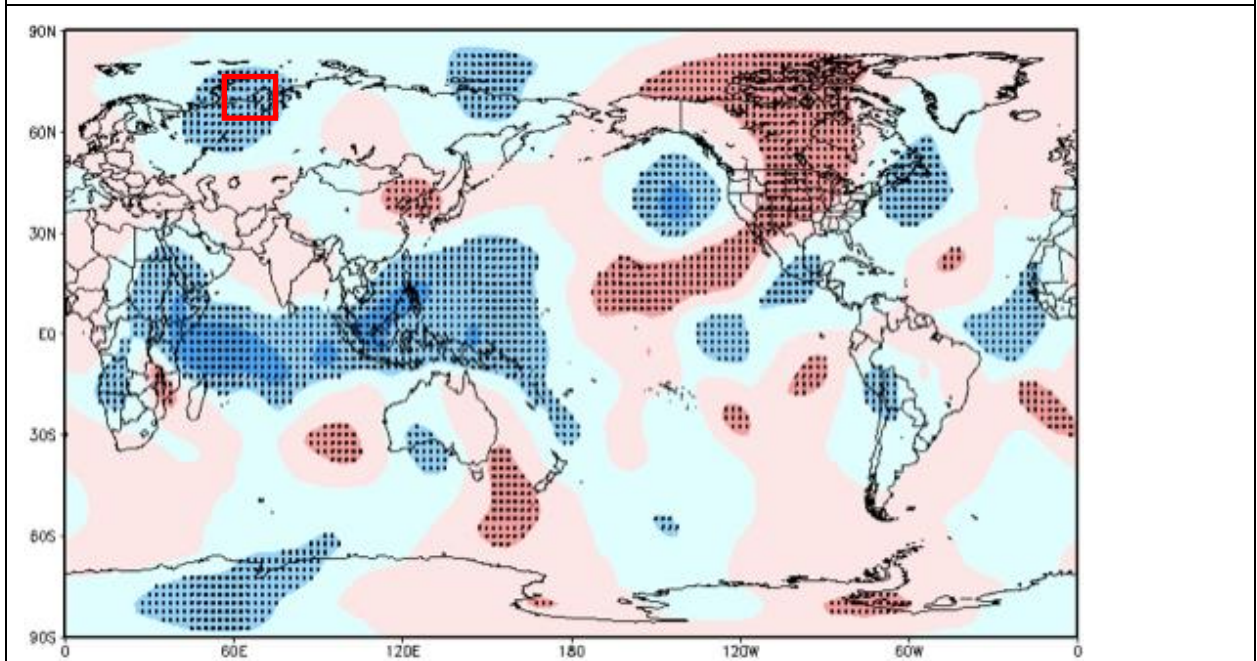


圖 19 1986-2016 年 DJF 200mb 經向風相關係數回歸分析

(圖中方框為 Area 2)

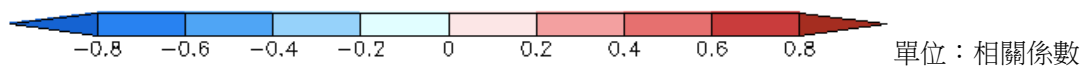


表 9 臺灣冬溫與世界經向風迴歸分析圖

另外，在 2 公尺溫度與經向風的分析圖中，都可以發現後期白令海峽北邊的北極海的相關性較前期增加。雖然跟整體相比，臺灣地面附近的溫度與北極海的相關性不高，但此現象是高緯度在後期新增的趨勢，也造成高緯度相關性正負交替的波數增加的現象。

七、延遲和領先相關性分析

考慮影響臺灣冬季的天氣系統應位於臺灣以北，又 AO 與 NAO 由西向東推移，我們分別取了臺灣西北方，經緯向風在前後兩時期相關係數絕對值大於 0.4，並同時符合經統計檢定後，其結果高於 95%信賴水準的風場：蒙古西部（經度 95~97.5°E/緯度 42.5~45°E）緯向風(如圖 16、17 中的方框區 Area 1)及西伯利亞西北部(經度 60~62.5°E/緯度 70~72.5°E)經向風做延遲性分析(如圖 18、19 中的方框區 Area 2)。前後期都有此訊號表示有持續相關，可避免只是數值相關而非實際意義的案例。為了使找到的訊號適用於近期，此分析的時間範圍取為後期（1986-2018）。以下八張折線圖為臺北冬季離地表兩公尺處月均溫與各季節之經向風及緯向風的相關性。圖中打上點的數據為該季節中相關性最高的領先或延遲月份。在這項研究中，領先是指該地的風場比臺北先變化，橫軸以月為單位來表示不同的領先或延遲長度，因為分成不同季節來表示，故每領先 3 個單位即為 1 年，又由於每個單位實際意義為資料處理時該季節月均溫向上或下位移的格數，因此並非剛好領先 $3n$ ($n \in$ 自然數) 就跨一年分，應為 $3n+k$ ($k \in$ 自然數，取決於不同季節及當年寒流發生的月份)。

(一) 西伯利亞地區—經向風

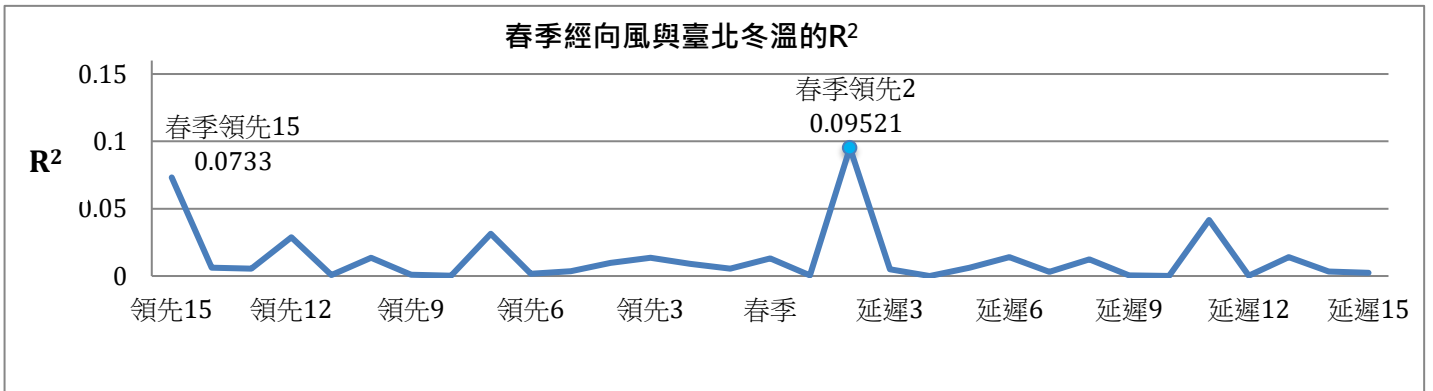


圖 20 臺北冬溫與西伯利亞春季經向風風場的相關性

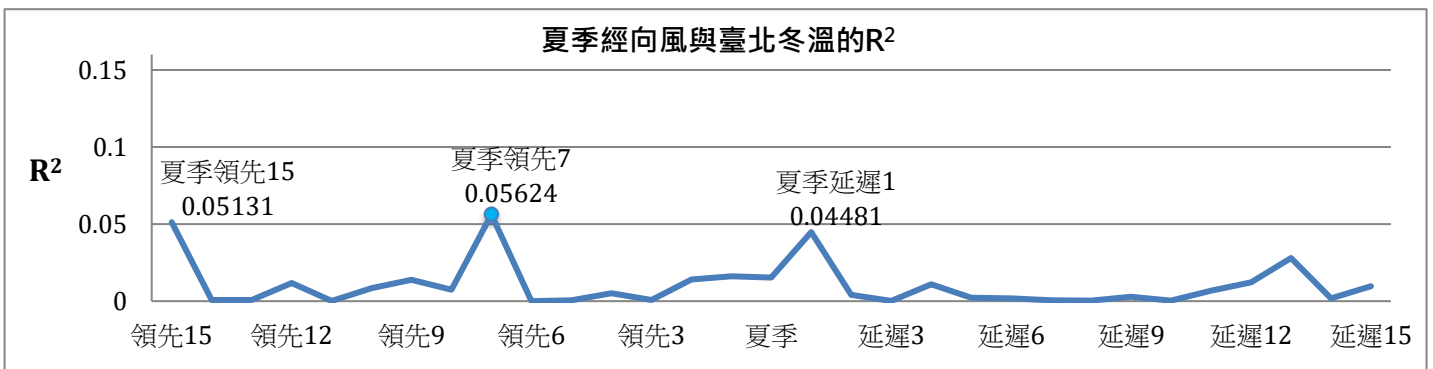


圖 21 臺北冬溫與西伯利亞夏季經向風風場的相關性

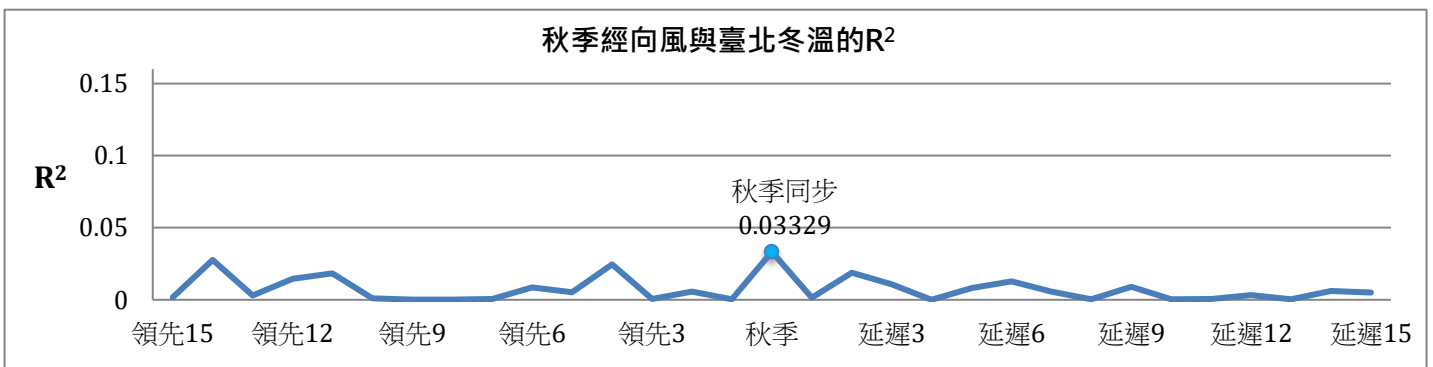


圖 22 臺北冬溫與西伯利亞秋季經向風風場的相關性

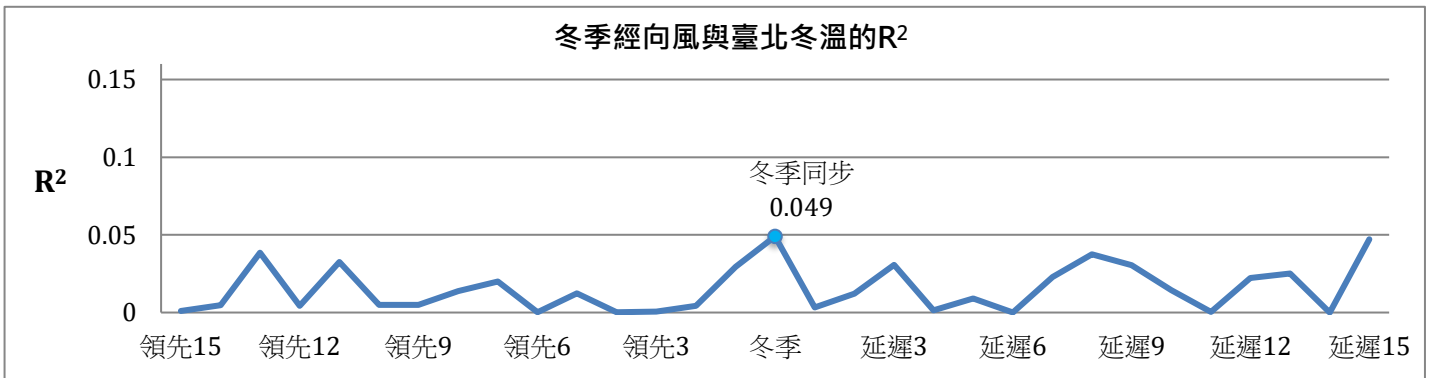


圖 23 臺北冬溫與西伯利亞冬季經向風風場的相關性

圖 20 為西伯利亞春季經向風與臺北冬溫的相關性，其中領先 2 的相關性稍高，對照圖 24 為正相關，表示西伯利亞的南風減弱或北風增強，可能和臺北在十一個月後的降溫有關。

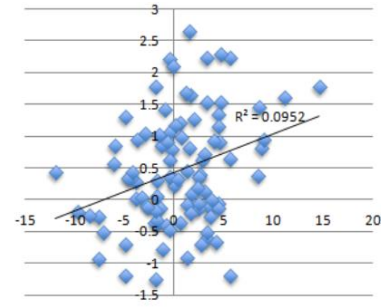


圖 24 春季領先 2

另一個春季的高峰是領先 15，對照圖 25 為負相關，顯示當臺北溫度下降，西伯利亞的南風增強或北風減弱。可能表示該地高空氣團被向北擠壓，導致天氣系統由西向東推移，故被擠壓的氣團向西影響臺北。此跨越較長時間的相關性，暗示可能有更長時間尺度的週期振盪的存在。

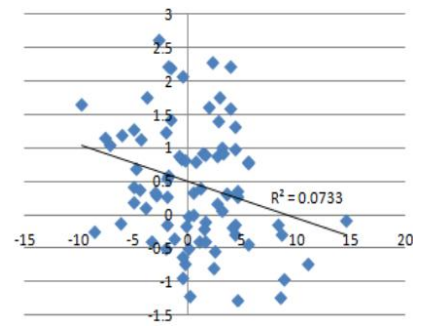


圖 25 春季領先 15

圖 21 為夏季，其相關性主要有三個小峰，分別是領先 15（圖 26）、7（圖 27）及延遲 1（圖 28），領先 7 為正相關，其餘為負相關，且皆間隔 8 個單位。

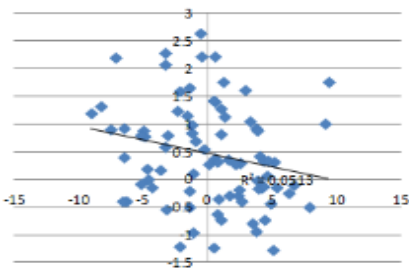


圖 26 領先 15

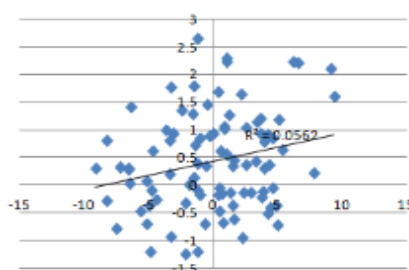


圖 27 領先 7

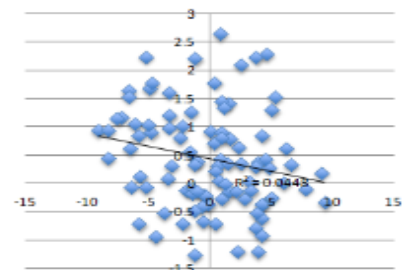


圖 28 延遲 1

圖 22 是秋季，相較於其他季其相關性最低，只有小幅度的起伏。冬季則為圖 23，相關性也不高，其中相對高的 R^2 是冬季同步，參考圖 29 得知是負相關。

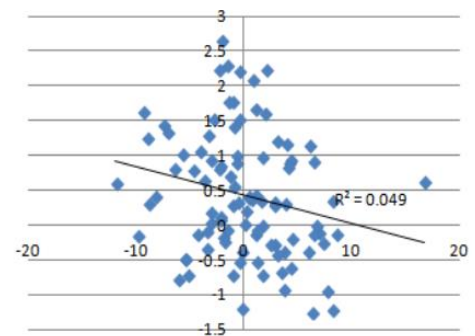


圖 29 同步

(二) 蒙古地區—緯向風

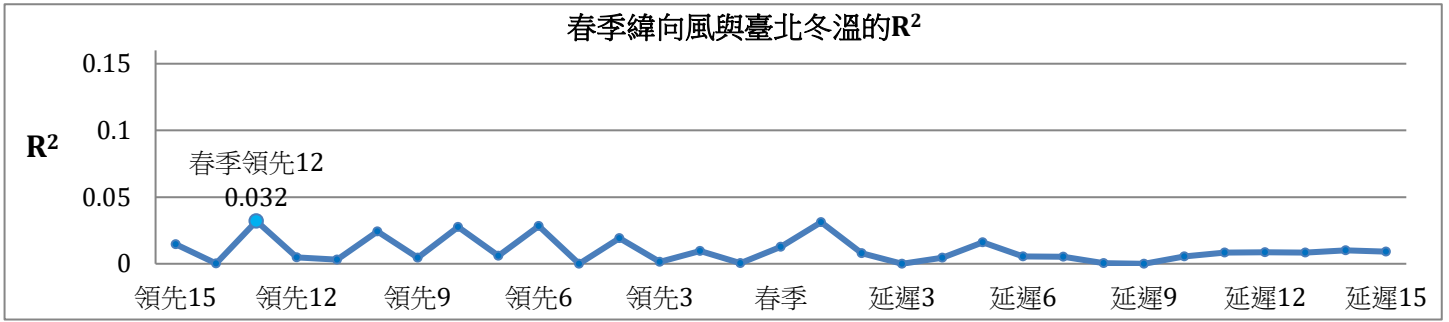


圖 30 臺北冬溫與蒙古西部春季緯向風風場的相關性

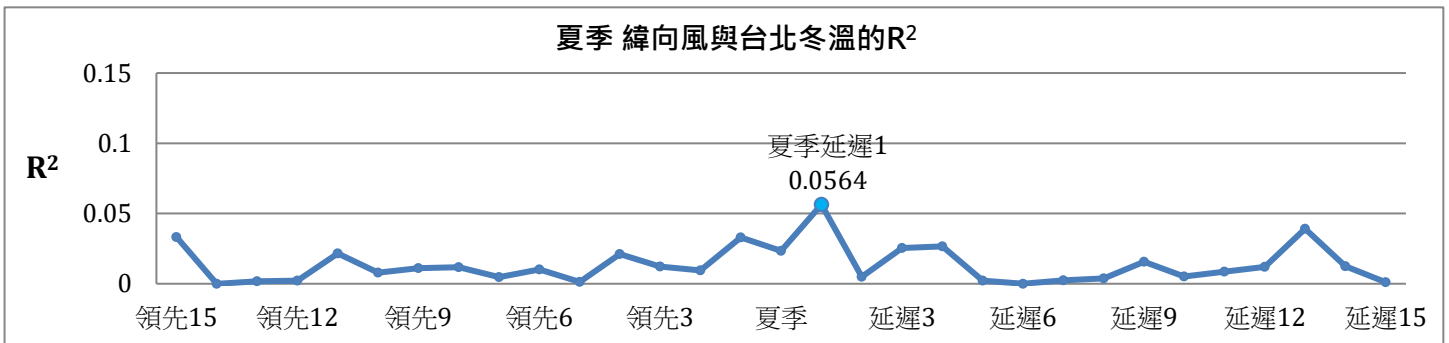


圖 31 臺北冬溫與蒙古西部夏季緯向風風場的相關性

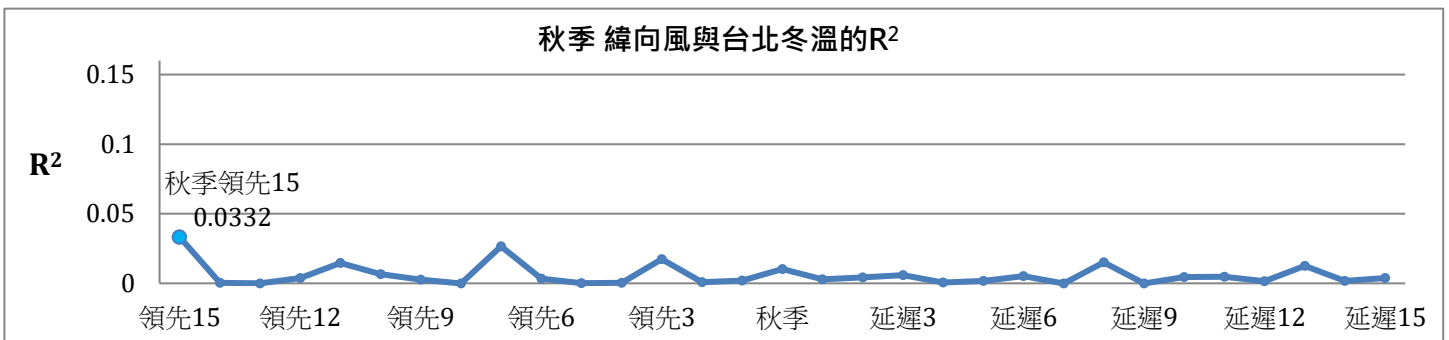


圖 32 臺北冬溫與蒙古西部秋季緯向風風場的相關性

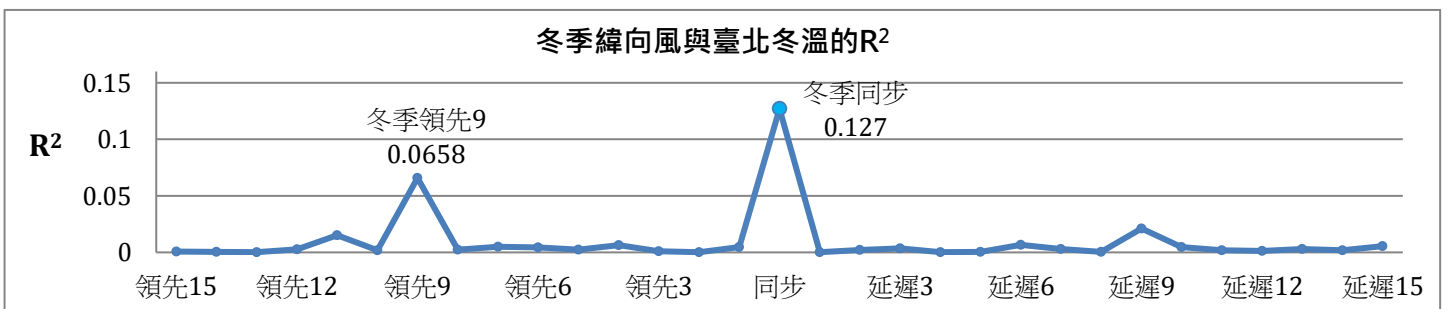


圖 33 臺北冬溫與蒙古西部冬季緯向風風場的相關性

圖 30 為蒙古西部春季緯向風與臺北冬溫的相關性，圖中不管是同步、領先還是延遲，相關性都不高，並且領先部分有很多小幅振盪。圖 31 為夏季，相關性也是不高，但相較之下，延遲 1 的相關性最高，對照圖 34，得知為正相關，表示臺北冬季溫度降低時，蒙古夏季東風變強或西風變弱。

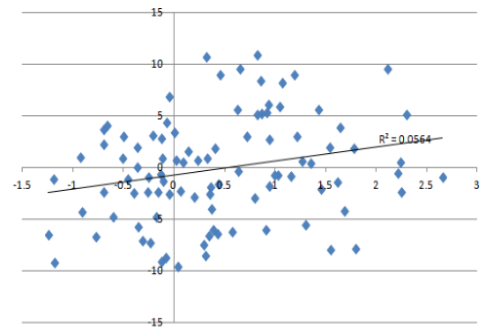


圖 34 領先 0.7

秋季為圖 32，秋季的相關性最低，但秋季的折線圖與春季相似，都有半波長為 3 單位的小起伏，但振幅較不規律。藍色是冬季，當年冬季（同步）臺北溫度與蒙古緯向風的相關性相當大，為這項研究中相關性最高者，對照圖 35 得知是負相關，可能表示臺北冬季溫度下降時，該月蒙古的東風減弱或西風增強，可能表示蒙古高空的氣團向西推進，進而影響東南方的臺灣。

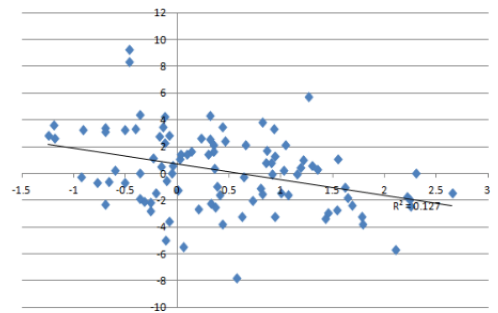


圖 35 同步

領先 9 有另一個高峰，暗示可能有更長時間尺度的周期振盪與之有關，而參考圖 30 也是負相關。

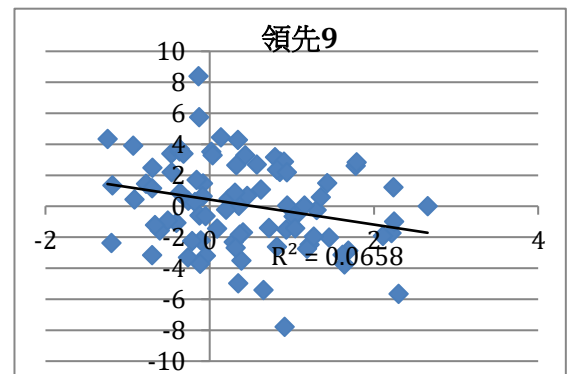


圖 30 領先 9

以下表格依季節分別列出兩個樣區領先或延遲相關性最高的月份：

季節	同步 R ²	最高相關月份	最高 R ²
春	0.0131	領先 2	0.0952
夏	0.0153	延遲 7	0.0562
秋	0.0333	延遲 14	0.0276
冬	0.0490	領先 15	0.0472

表 10 西伯利亞經向風相關性比較

季節	同步 R ²	最高相關月份	最高 R ²
春	0.0127	領先 13	0.0320
夏	0.0233	延遲 1	0.0584
秋	0.0103	延遲 15	0.0015
冬	0.1270	領先 9	0.0658

表 11 蒙古西部緯向風相關性比較

經過表 10 及表 11 的觀察，我們認為在西伯利亞地區的領先 2 和蒙古西部地區的同步最適合作為預報的領先指標地區。因此接下來會針對這兩個時空，將個案代入進行驗證。

八、個案代入驗證

(一) 冬季臺灣地區 2 公尺高溫度

圖 31 當中藍色為寒流期間 (c)，紅色為非寒流期間 (nc)，綠色則為氣候值 (a)。縱軸為標準化數值，橫軸為不同月份。三個月份當中，寒流期間溫度 (藍) 的數值皆比氣候值 (綠) 小。非寒流期間溫度 (紅) 的數值，則是皆較氣候值 (深綠) 大。上述現象在 1 月 2 月較明顯，12 月寒流、非寒流、季節性的差異不大。

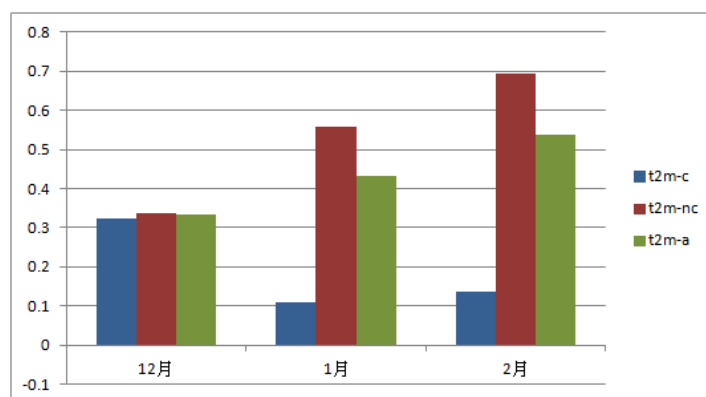


圖 31 冬季臺灣地區 2 公尺高溫度

(藍色為寒流期間、紅色為非寒流期間、綠色為氣候平均值)

(二) 冬季蒙古西部地區 200mb 緯向風

圖 32 當中，寒流期間 (藍) 緯向風的數值都比氣候值 (綠) 小，非寒流 (淺紅) 的數值都比氣候值 (綠) 大。

若比較不同月分，則是 12 月、1 月較相似。2 月份寒流期間與非寒流期間差異較小且非寒流期間及氣候值為負值。

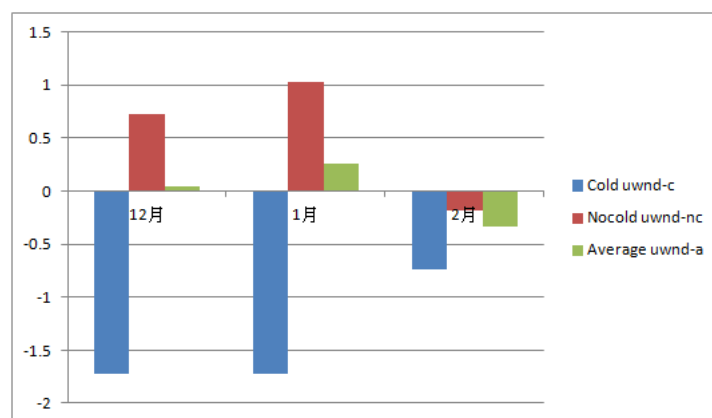


圖 32 冬季蒙古西部地區 200mb 緯向風

(藍色為寒流期間、紅色為非寒流期間、綠色為氣候平均值)

(三) 冬季西伯利亞地區 200mb 經向風

圖 33 為春季領先 2 在西伯利亞地區的經向風。該地區的經向風與溫度相關性最高的為 4 月、5 月、3 月（分別對應臺北在 12 月、1 月、2 月的溫度）。除了四月，經向風在寒流期間（藍）的數值大較氣候值小。非寒流期間（紅）則三個月分的數值皆較氣候值大。

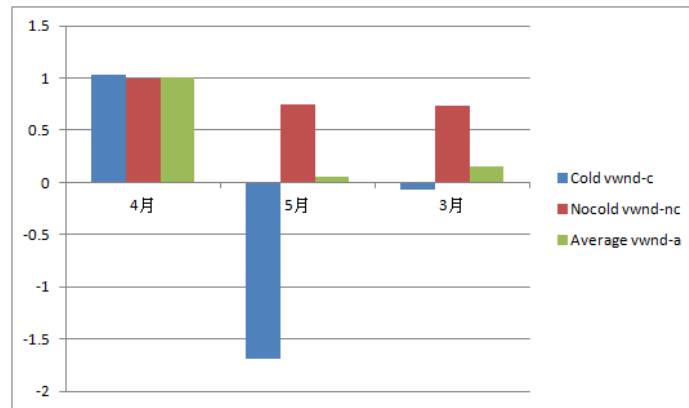


圖 33 冬季西伯利亞地區 200mb 經向風

（藍色為寒流期間、紅色為非寒流期間、綠色為氣候平均值）

若是將不同的物理量拿來做比較，依然可以觀察出寒流與非寒流期間的差異。如 uwnd 的 12 月、1 月與 vwnd 的 5 月、3 月，寒流期間都比氣候值低且符號相反，同時非寒流都比氣候值高且皆為正。

不論是溫度、經向風還是緯向風，寒流期間及非寒流期間與氣候值的差異皆有明顯的不同。

陸、本計畫遇到的問題及解決方式

一、問題：

在觀察全世界在臺灣是否發生寒流的個物理量差異時，我們希望第一：能合成重力位高及風場，繪製在同一張圖中呈現；第二：將各地的數值與平均值相減，然而 NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL) 網站（一開始我們用來繪圖的網站）在合成時會有天數的限制，且無法減去平均值。

解決方式：

向教授級實驗室學長請教 OpenGrADs 的繪圖方法，並由此軟體繪製出府和我們要求的圖。

二、 問題：

在初步完成其他地區經緯向風場與臺北冬溫相關性延遲性分析時，並無發現較高的相關性。

解決方式：

主要原因有三，第一我們取的樣區幾乎是位於臺北正北方或者甚至是東北方，然而大部分臺北天氣系統的上游是在東北方，因此後來我們重取一次樣區，第二因為我們一開始取的範圍太大，如此會把較高變異值平均掉了。因此在做分析時，變異數值不夠大，相關性便不顯著。第三我們一開始做延遲性時是以月為單位，然而，天氣系統很可能會隨著季節的遞嬗有規律變化，因此教授建議我們以季節為單位進行延遲及領先分析較為妥當。

柒、本計畫之討論與後續之方向

本計畫之討論主要有六點：

一、比起 AO，風場對臺灣地區寒流溫度的相關性更顯著。由霍夫莫勒圖、經向風和緯向風的時序圖觀察，得知以下兩點：

(一) 觀察 V 風折線圖，1986 年後寒流由頻繁而相對溫和轉為較不頻繁卻極端。

(二) 緯向風與經向風的起伏交替，兩者分別較強的年份未曾重疊。因此在經向風距平值為負且其絕對值較大的年份當中，冷空氣非常容易南下影響緯度較低的地區。

二、針對前期與後期的比較得知，各地區後期的地表溫度高於前期。後期西伯利亞地區的海平面高壓中心南移，故高緯度地區的海平面氣壓降低。850mb 溫度場前後期的波形類似，但前期高緯度地區的 day -5 最低溫較低。意味著後期在寒流發生五天前的低溫狀況有趨緩的氣候變遷。500mb 溫度場後期的等溫線的波形從 V 形逐漸變成 U 形，振幅變小，且變化以 day 0 較 day -5 明顯。可解釋為普遍來說後期僅在寒流當天的冷空氣較為不集中，寒流前五天之氣候變遷趨勢不顯著。

三、海平面高壓中心極值以 day 0 較弱，但中心位置較接近臺灣，故對臺灣影響較大。在 850mb 及 500mb 處，day 0 南下的冷氣團較集中 day -5。day 0 在高緯地區的等溫線呈現 V 字形，day -5 則呈現 U 字形。850mb day 0 等溫線振幅相對 500mb 和 200mb 來得大，推測是因為其較接近地表受較多地表輻射影響，屬於合理的垂直分層差異。

四、同緯度不同地區的經向風與臺灣距離地表 2 公尺處的溫度相關性大多相近。北緯約 25-30 度、東經約 60 度至西經約 160 度有一連續與臺灣相關係數大於 0.4 的帶狀長條。有可能與對臺灣較有影響的天氣系統相關。各地緯向風的相關係數大致較經向風低。

五、為了使延遲或領先的趨勢明顯，樣區需盡量取在的臺灣西北方。前後期都有此訊號表示有持續相關，可避免只是數值相關而非實際意義的案例，因此樣區需是經向或緯向風在前後兩時期相關係數絕對值大於 0.4，並符合經統計檢定（信賴水準高於 95%）的地區。藉由以上條件，我們決定將緯向風的樣區定為蒙古西部（經度 95~97.5°E/緯度 42.5~45°E），經向風的樣區定為西伯利亞西北部（經度 60~62.5°E/緯度 70~72.5°E）。

六、本研究所得出的寒流氣候預報準，依據參考地區可得知：

（一）西伯利亞樣區

3 月的經向風標準化過後，若距平值為負（北風增強或南風減弱），則隔年 2 月有機會發生臺北寒流。5 月的經向風標準化過後，若距平值為負（北風增強或南風減弱），則隔年 1 月有機會發生臺北寒流。

（二）蒙古樣區

1、2 月時的緯向風標準化過後，若距平值減少（東風增強或西風減弱），則當月有機率發生臺北寒流。

本計畫之後續規劃為仿照風場的迴歸分析，進行其他物理量之延遲及領先相關性分析，並找找看是否有更高相關性的指標，畢竟風場相關性未到達高度相關。另外我們在分析世界各地同步之相關性時，發現圖 18、19 中 Area2 的位置（紅框）屬於冰島低壓環流的影響範圍內，且冰島低壓環流與北大西洋振盪（NAO）有密切關係，因此未來也會進行 NAO 之相關性討論。

捌、參考資料及其他

- 一、吳珍瑩及洪志誠（2007）。臺灣寒潮長期統計分析（碩士論文）。取自
<https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gswweb.cgi?o=dnclcdr&s=id=%22096TMTC5147030%22.&searchmode=basic>
- 二、周柏憲（民 105 年 1 月 25 日）。臺灣低溫致死 85 人 BBC 高度關注。自由時報。取自
<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/1584531>
- 三、Microsoft Word - 北極振盪。中央氣象局。取自
<https://www.cwb.gov.tw/V7/hottopic/ao.pdf>
- 四、洪志誠、張智鈞（2017）。臺灣冬季寒潮長期變遷：過去及模式未來推估。取自
https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/upload/activity_agenda/20170405160033.pdf
- 五、Shengping He, Yongqi Gao, Fei Li, Huijun Wang, Yanchun He（2017）。Impact of Arctic Oscillation on the East Asian climate: A review。Earth-Science Reviews。164（2017）。48-62
- 六、Shaobo Qiao, Po Hu, Taichen Feng, Jianbo Cheng, Zixuan Han, Zhiqiang Gong, Rong Zhi, Guolin Feng（2017）。Enhancement of the relationship between the winter Arctic oscillation and the following summer circulation anomalies over central East Asia since the early 1990s。取自
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3818-3>
- 七、James R. Holton & Gregory J. Hakim（2012）。*An Introduction to Dynamic Meteorology*. Cambridge, MA :Academic Pr. Retrieved from
<http://www.sanmin.com.tw/product/index/99t155l7o103h63q102r65q106x125vematvh846nar>
- 八、簡靖蓉及蔡承庭（2018）臺灣極端寒流個案與東亞地區冬季氣候之關聯。取自
臺北市第 52 屆中小學科學展覽會地球與行星科學科作品

【評語】 180012

針對極端寒流事件，利用網格資料進行幾十年際之分析，對寒流事件十年際以上的變化有進一步之了解，同時也找到一些影響因子可以用來預估季節以上到年際之寒流事件可能出現之機會，頗有亮點、但對短期氣候、長期氣候以及短期天氣變化要素之討論宜清楚劃分，概念也要能簡化說明才能具有說服力。