

台灣寒潮長期統計分析

吳珍瑩¹ 洪志誠²

台北市立教育大學

摘要

本研究利用中央氣象局地面測站與 ECMWF ERA40 2.5°x2.5° 全球網格點資料探討 1949-2004 年台灣冬季 (12-2 月, DJF) 寒潮的長期變化。研究結果顯示, 近 56 年台灣寒潮總個數為 221 次, 平均每年為 3.9 次。其中一月份平均次數最多(1.8 次), 2 月份次之(1.2 次), 十二月份最少(0.9 次), 從大尺度環流場得知, 西伯利亞高壓與東亞主槽的強弱是造成不同月份寒潮平均次數不同的主要原因, 其中尤以東亞主槽的影響更明顯。寒潮總天數為 627 天, 平均每年有 11.2 天, 與寒潮次數相似, 一月份寒潮平均天數最多(5.5 天), 二月份次之(3.5 天), 十二月份最少(2.2 天)。

台灣寒潮在 1976/77 年出現明顯轉折, 之前(1957-1977)寒潮次數明顯偏多(5.4 次/年), 之後(1981-2001)明顯偏少(2.8 次/年)。七年滑動平均顯示, 台灣寒潮次數、西伯利亞高壓與北大西洋震盪(North Atlantic Oscillation, NAO)有顯著相關, 寒潮偏多的時期(1957-1977), 西伯利亞高壓偏強, 正好對應 NAO 負相位, 偏少的時期, 結果相反。從 NAO 的點相關圖得知, 西伯利亞高壓、東亞主槽以及貝加爾湖上游的高空脊與 NAO 顯著相關, 此三者 NAO 負相位期間皆轉強, 有利於台灣寒潮的發生, NAO 正相位期間結果相反。

除了 NAO 外, 我們同時比較其他大氣結構, 例如 PDO(Pacific Decadal Oscillation)、AO(Artic Oscillation)、ENSO(El Niño and Southern Oscillation)和 NP(North Pacific) 與台灣寒潮的關係, 除了 AO 外, 其餘氣候指標與台灣寒潮次數的關係並不明顯, 研究顯示, NAO/AO 與華南底層緯向風場顯著相關, 是 NAO/AO 與台灣寒潮次數年代際變化高度相關的關鍵。

一、前言

寒潮是東亞冬季季風最顯著的天氣現象之一, 寒潮發生過程包含東亞高空槽的建立與崩潰、西伯利亞冷高壓的分裂或南移, 並伴隨東亞沿岸的冷空氣向南潰流, 主要的天氣特徵為: 地面的氣溫驟降、氣壓上升與近地面北風增強(王 1978; Boyle and Chen 1987)。

寒潮爆發時所引起的強風和酷寒也對台灣的農作物, 養殖漁業造成重大損失, 短時間的氣溫驟變危害人民的生命安全甚巨, 尤其對於上呼吸道與心血管疾病患者。因此, 寒潮引起的低溫被列為劇烈天氣, 低溫特報則是中央氣象局天氣預報的重點項目之一。

東亞寒潮年際變化的研究並不多, 主要的兩篇為 Zhang et al (1997)與 Chen et al.(2004), 兩者皆討論寒潮與聖嬰與南方震盪 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO)的關係。Zhang et al. 研究指出寒潮次數的年際變化與南方震盪為顯著正相關(相關係數達 0.81), 亦即聖嬰成熟期的次一年(反聖嬰)冬天, 寒潮次數偏多, 此與 Wang et al. (2000), 認為聖嬰/反聖嬰年成熟期冬天, 西北太平洋地區的反氣旋(氣旋)會減弱(加強)東亞冬季季風的論點是一致的。但是 Chen et al. (2004), 以 NCEP/NCAR(Kalnay et al. 1996)資料

重新分析 1979-1992 東亞寒潮次數年際變化與 ENSO 的關係, 得到 ENSO 暖期(冷期)時寒潮偏多(偏少), 與 Zhang et al. (1997)的研究結果並不一致, 此差異主要是對寒潮定義不同造成的。

除了 ENSO, 北極震盪(Arctic Oscillation, AO)或北大西洋震盪(North Atlantic Oscillation, NAO)與東亞冬季季風也具顯著相關。Wu and Wang (2002)研究指出 AO 與西伯利亞高壓為顯著負相關($cr=-0.36$), 當 AO 負相位時, 西伯利亞高壓加強, 東亞冬季季風變強。與 AO 相似, NAO 與東亞冬季季風也具顯著相關, NAO 指數異常偏高時, 西伯利亞地面偏暖, 冷高壓與東亞冬季風減弱; NAO 指數異常偏低時, 冷高壓與東亞冬季風轉強(武與黃 1999)。除了年際變化外, NAO 的年代際變化與東亞東季季風年代際變化也具顯著相關, 在 NAO 正相位時, 西伯利亞高壓明顯偏弱, 反之偏強(Chang et al.)。

從文獻探討得知, 雖然已有不少論文探討台灣寒潮, 但有關台灣寒潮的長期統計分析至今仍未被充份討論。Zhang et al. (1997) 與 Chen et al. (2004) 雖討論長時間東亞寒潮的年際變化, 但由於對寒潮的定義不同, 結論不一致。因此, 台灣寒潮的長期統計無法直接引用其結論, 仍需進一步探討。

另一方面, NAO/AO 與東亞冬季風年際變化具統計相關, 是較一致的看法, 亦即, NAO/AO 負相位期間, 西伯利亞高壓、冬季季風偏強。雖然研究已指出 AO 與東亞寒潮發生頻率年際變化為顯著負相關, 但結果是否適用於台灣寒潮仍有待進一步研究。此外, 近二十幾年, 西伯利亞高壓明顯減弱 (Chang et. al 2006), 台灣寒潮發生頻率是否也有明顯的年代際變化? 與 AO/NAO 年代際變化是否有關? 也有待探討。除了 NAO/AO 外, Hung (2004) 的研究指出示 PDO (Pacific Decadal Oscillation) 與台灣北部春雨 (1 月 - 4 月) 有顯著的年代際相關, 因此, ENSO、PDO、NP 等大氣結構與台灣寒潮的關係也須進一步探討。

AO 與 NAO 指標高度相關 (Wallace 2000), 特別在冬季, 相關係數達 0.9, 因此, 以 AO 或 NAO 指標得到的統計結果相當類似。由於本研究重點在東亞寒潮, 考慮 NAO 一般歸屬區域現象, 而 AO 屬於北半球的結構, 本研究討論重心將集中在 NAO。

綜合以上討論, 歸納出本研究的主要目的為:

- (一) 探討台灣寒潮的長期統計特性。
- (二) 探討台灣寒潮與 NAO 的關聯。

二、資料來源與研究方法

本研究使用中央氣象局台北測站的資料, 時間從 1949-2004 年冬季每日最低與最高溫。另外我們選擇彭佳嶼測站 (25.6°N, 122.1°E) 作為比對, 時間長度與台北站相同 (1949-2004 年)。

大氣環流資料取自 ECMWF ERA-40 (Uppala et al. 2005) 2.5°×2.5°, ERA-40 的時間長度為 1957/9-2002/8。資料包括: 海平面氣壓、即標準層的高度場以及風場。

本研究定義冬季為每年的 12、1 月至次年的 2 月 (DJF), 另外為求資料處理的一致性, 2 月 29 日不列入資料分析, 所以每年冬季共有 90 天。

(一) 寒潮定義:

本研究選定的寒潮定義為中央氣象局: 台北日最低溫低於 10°C 以下。

(二) 各種氣候指標

1. 西伯利亞高壓指標:

本研究之西伯利亞高壓指標範圍為 Wu and Wang (2002): 40°-60°N, 80°-120°E 地面氣壓的區域平均值。

2. NAO 指標:

NAO-index 根據 Hurrell (1995) 的定義, 資料長度為 1865-2003 年, 資料來自 UCAR (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/index.html>)。

3. PDO 指標:

PDO 為北太平洋 (20N 以北) DJF 海溫之第一主分量 (leading mode), 時間長度為 1900-2007 年, 資料取自下列網站: <http://jisao.washington.edu/pdo>

4. NP 指標:

NP-index 是區域加權的海平面氣壓, 區域範圍是 30°N-65°N, 160°E-140°W, 時間長度為 1900-2006 年。資料取自下列網站: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/np.html>

5. Nino3.4 指標:

Niño3.4 index 是海平面溫度距平, 海溫區域 5°N-5°S, 170°W-120°W。資料取自下列網站: <http://www.eldersweather.com.au/climimage.jsp?i=nino34>

6. AO 指標:

AO 為以北半球 20°N 以北地面氣壓的第一主分量 (leading mode) 為指標, 時間長度為 1950-2007 年, 資料取自下列網站:

<http://jisao.washington.edu/ao/>

(三) 資料處理與分析方法

1. 年代際變化的處理:

本研究定義的年代際變化是指經過 7 年滑動平均的時間序列, 一般而言, 年代際變異指的是週期大於、等於 7 年以上的訊號, 在此我們也比對 5 年、9 年和 11 年的滑動平均, 結果差別不大。

2. 統計檢定:

做點相關的時, 資料的長度, 樣本數的多寡, 會影響具有意義的數值大

小, 所以必須做統計檢定, T-test 的統計檢定可以揀選出具有代表性的數值。

T 值的公式為 (Blum 2007):

$$t = r \sqrt{\frac{(N-2)}{1-r^2}}$$

其中 r 為相關係數, N 為樣本數, N-2 為自由度。若為獨立樣本, 當 N=44, (ERA40 的資料長度)。顯著性等於 0.05 ($\alpha=0.05$) 的情況下, t 的臨界值約等於 0.3。但一般而言, 逐年資料並非獨立, 因此自由度小於 N-2。

三、 寒潮長期統計結果

圖 1a 是 1949-2004 台北測站每年冬季發生寒潮次數的統計，經由計算 1949-2004 年冬季台灣寒潮的總個數為 221 次，冬季日最低溫平均為 13.7°C，寒潮平均次數每年為 3.9 次，寒潮次數標準差為 2.2 次。圖 1b 是 1949-2004 台北測站每年冬季發生寒潮天數的統計圖，1949-2004 年冬季台灣寒潮的總天數為 627 天，寒潮平均天數每年為 11.2 天，寒潮天數標準差為 8.3 天。

本研究以寒潮次數高(低)於一個標準差定義寒潮偏多(少)年份。寒潮偏多的年份為：1961、1962、1963、1966、1967、1969、1973、1975、1985 年，計 9 年；寒潮偏少的年份為：1987、1989、1990、1993、2000、2002 年，計 6 年。

四、 台灣寒潮的年代際變化

圖 2 為 1949-2004 年台北寒潮發生天數(次數)距平圖，由圖顯示無論是寒潮天數或是次數，在 1976/77 年出現顯著轉變，1976/77 年之前寒潮偏多(每年 5.4 次/16.6 天)，之後偏少(每年 2.8 次/6.6 天)，寒潮頻率呈現一個明顯的年代際變化。台灣寒潮次數(天數)在 1976/77 年的轉變和 Yasunaka(2002)所提出的 1976/77 年氣候突變時間一致。因此，本研究以 1976/77 年為界線，以 1957-1977 年定義為寒潮偏多的年代，近 20 年(1981-2001 年)為寒潮偏少的年代。

圖 3a 與 3b 分別為 1957-1977 年與 1981-2001 年冬季(DJF)，地面氣壓與 500hPa 高度場距平圖。由圖 3a 顯示在寒潮次數多的年份(1957-1977 年)，西伯利亞高壓是偏強的正距平，貝加爾湖上游的 500hPa 高空脊增強，東亞主槽加深，與一般寒潮爆發的大尺度環境場一致。除了東亞地區外，大西洋區域也出現顯著的異常，亦即，大西洋格陵蘭、冰島附近地面氣壓與 500hPa 高度場出現正距平，其南方，從大西洋(35°W，45°N)延伸至地中海則出現負距平，氣壓場呈現南北方向偶極結構，與 NAO 負相位期間的大尺度環流場非常相似。在寒潮次數偏少的年代(1981-2001 年)的大尺度環流場結果與寒潮偏多的年代雷同，但是符號相反(圖 3b)：西伯利亞高壓、東亞主槽和貝加爾湖上游的高空脊皆減弱，這些大尺度環流特徵都不利於寒潮發生。同樣的，在北大西洋地域也出現一個正 NAO 的環流型態，地面氣壓與 500hPa 高度場在格陵蘭、冰島為負距平，其南方為正距平。

圖 4 為台北寒潮次數、西伯利亞高壓指標和 NAO 指標七年滑動平均時間序列圖，在此，寒潮次數與 NAO 的時間範圍是 1949-2004 年，但西伯利亞高壓指標由於 EAR-40 長度的緣故，時間範圍是 1957-2001 年。由圖可知台灣寒潮次數的年代際變化與西伯利亞高壓和 NAO 密切相關，與西伯利亞高壓為正相關($r=0.89$)，與 NAO 為負相關(-0.86)。寒潮偏多(偏少)

的年代際，西伯利亞高壓偏高(低)，NAO 為負(正)相位。

圖 5a 為 NAO 七年滑動平均與地面氣壓和 500hPa 的點相關分布圖，圖 5b 為通過 95%統計檢定的結果。由圖顯示，除了 NAO 在大西洋區域有高度的自相關外，就高層 500hPa 高度場而言，也有幾個顯著遙相關的區域，分別為地中海上空(30°E, 40°N, $r=-0.4$)、貝加爾湖上游(60°E, 45°N, $r=0.4$)，與東亞主槽(120°E, 40°N, $r=-0.3$)，表示 NAO 為負相位時，貝加爾湖上空的脊場加強以及東亞主槽皆槽加深。在地面氣壓方面(圖 5a, 陰影)，除了 NAO 區域外，主要的顯著區域在西伯利亞高壓($r=0.5$)、地中海($r \geq -0.6$)和印度半島西側(61°E, 20°N, $r=-0.5$)。從點相關圖我們得知，在年代際的尺度，NAO 負相位期間，西伯利亞高壓、東亞主槽以及貝加爾湖上游高空脊皆加強，這些大尺度環境皆有利於寒潮的發生。

表 1 為 NAO、AO、PDO、NP、Niño3.4 與西伯利亞高壓、台灣寒潮次數年代際變化的統計相關之比較。由表 1 可知，就年代際變化而言，除了 NAO($cr=-0.86$)與 AO($cr=-0.82$)與寒潮次數通過 95%統計顯著檢定(表 1 粗黑數字)外，其餘 PDO、Nino 和 NP 皆未通過 95%統計顯著檢定，由上得知，只有 NAO/AO 與台灣寒潮次數年代際變化有統計相關。

五、 結論與討論

本研究使用台北測站的每日最低溫資料，統計 1949-2004 年台灣地區的寒潮次數(天數)，以探討台灣寒潮長期統計特性，並使用 ECMWF ERA-40 的網格點資料進行合成與統計分析，主要目的為探討台灣寒潮的長期變化，以及 NAO 與台灣寒潮的長期變化關係。

本研究的主要結果如下：

- (一) 台灣冬季平均發生 3.9 次/年寒潮，寒潮天數平均 11.2 天/年。
- (二) 台灣寒潮出現明顯的年代際變化 1976/77 年出現明顯的轉變，在此之前(1949-1977 年)寒潮偏多(寒潮次數/天數平均為 5.4 次/16.6 天)，之後(1978-2004 年)偏少(寒潮次數/天數平均為 2.8 次/6.6 天)。
- (三) 寒潮偏多的年代際，西伯利亞高壓、東亞主槽，以及貝加爾湖上游高空脊皆明顯加強，寒潮偏少的年代際結果剛好相反。
- (四) 台灣寒潮次數與西伯利亞高壓以及 NAO/AO 年代際變化有顯著的統計相關，此關係在其他氣候指標，如 PDO、ENSO 和 NP 並不明顯。

本研究指出 NAO/AO 與台灣寒潮年代際具有統計相關，但此統計結果無法得知寒潮與 NAO 的因果關係。之前的研究顯示，NAO 造成的天氣擾動透過副熱帶噴流可以影響到下游，東亞等地區的天氣變化(Branstator 2002; Watanabe 2004)。Hong et al.

(2008)研究顯示，NAO在地中海-撒哈拉一帶形成的羅示比波源，激發產生的羅氏比波與台灣寒潮爆發有關。以上只是初步的結果，NAO透過何種機制影響台灣寒潮的年代際變化並不在本研究的探討範圍，仍有待後續的研究。另外在全球暖化的背景場下，NAO與台灣寒潮的關係為何，也須進一步釐清。

七、參考文獻

- 王崇岳，1978：台灣寒潮分析與預報。氣象學報，24，1-18。
- 武炳義與黃榮輝，1999：冬季北大西洋震動極端異常變化與東亞冬季風。大氣科學，23，641-651。
- Bluman, A. G., 2007: *Elementary statistics*. McG-Hill, 783 pp.
- Boyle, J. S. and T. J. Chen, 1987: Synoptic aspects of the winter time East Asian monsoon. Monsoon Meteorology, C. P. Chang and T. N. Krishnamuti, eds., *Oxford University Press*. 125-160.
- Branstator, G., 2002: Circumglobal teleconnection, the jet waveguide, and the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 15, 1893-1910.
- Chang, C. P., Z. Wang, and H. Hendon, 2006: The Asian winter monsoon. *The Asian Monsoon*, B. Wang, Ed. Praxis, Berlin, 89-127.
- Chen, T.-C.W.R. Huang, and J.H. Yoon, 2004: Interannual variation of the east Asian cold surge activity. *J. Climate*, 17, 401-413.
- Hong C.-C., H.-H. Hsu, and H.-H., Chia, 2008: A study of East Asian cold surges during the 2004/05 Winter: Impact of East Asian Jet Stream and Subtropical Upper-level Rossby Wave Trains. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, in press.
- Hung, C.-w., H.-H. Hsu, and M.-M. Lu, 2004: Decadal oscillation of spring rain in northern Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L22206, doi: 10.1029/2004GL021344.
- Hurrell, J.W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 77, 437-471.
- Uppala, S., P. Kallberg, A. Simmons, M. Fiorino, A. Hernandez, Xu Li, K. Onogi, S. Sarinen and N. Sokka, 2005: The ERA-40 re-analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.
- Watanabe, M., 2004: Asian jet waveguide and downstream extension of the north Atlantic oscillation. *J.*

Climate, 17, 4674-4691.

- Wallace, J. M., 2000: North Atlantic Oscillation/annular mode: two paradigms-one phenomenon. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 126, 791-805.
- Wang B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian Teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, 13, 1517-1536.
- Wu, B. G. and J. Wang, 2002: Winter Arctic oscillation, Siberian high and East Asia winter monsoon. *Geophys. Res. Lett.*, 29(19), 1897, doi:10.1029/2002GL015373.
- Zhang, Y., K. R. Sperber and J. S. Boyle, 1997: Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-1995 NCEP/NCAR Reanalysis. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 2605-2619.

八、附表圖

表 1：NAO、AO、PDO、NP、Niño3.4 和西伯利亞高壓指標、台灣寒潮次數與南中國 (105°E-120°E, 25°N-35°N) 850hPa 經向風場七年滑動平均的統計相關、以及 NAO 與各指標的相關值。粗體字表示通過 95% 統計檢定。括號內的數值為年際相關值。

	西伯利亞高壓(SH) (80°E-120°E, 40°N-60°N)	寒潮次數
NAO	-0.73	-0.86
AO	-0.72	-0.82
PDO	-0.7	-0.47
NP	0.52	0.32
Niño3.4	-0.73	-0.45

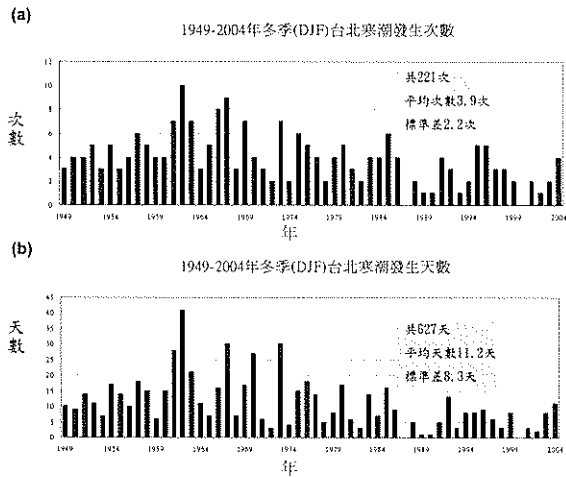


圖 1：(a) 1949-2004 冬季台北測站寒潮發生次數統計圖。(b) 同(a) 但為寒潮天數。

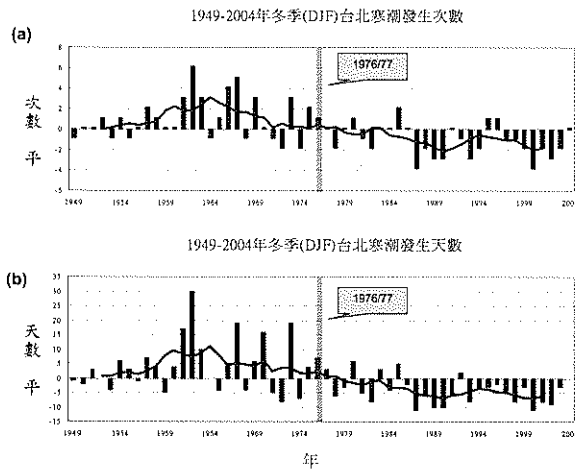


圖 2：(a) 1949-2004 年寒潮次數距平(直方圖)與滑動平均(折線圖)。(b) 同 a，但為寒潮天數。

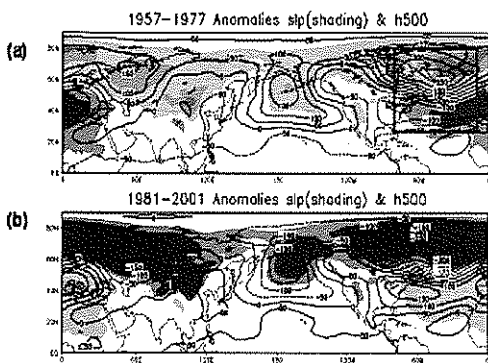


圖 3：不同時期，冬季北半球地面氣壓(陰影)與 500hPa 高度場(等值線)的比較。(a) 為 1957-1977 年平均，(b) 為 1981-2001 年平均。

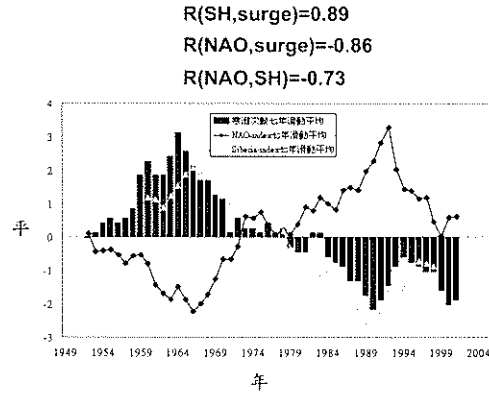


圖 4：1949-2004 年冬季(DJF)台北寒潮次數七年滑動平均(直方圖)和 1957-2001 年西伯利亞高壓指標(黑色線)七年滑動平均與 1957-2004 年 NAO 指標(紅色線)七年滑動平均比較圖。

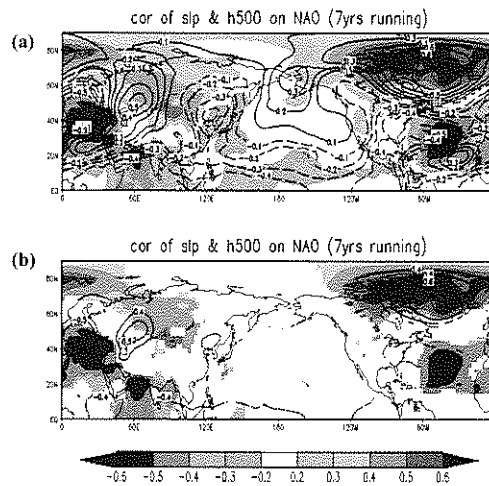


圖 5：(a) 1957-2001 年 NAO 指標七年滑動平均與地面氣壓(陰影)七年滑動平均和 500hPa(等值線)七年滑動平均的相關圖。為了方便討論，在此 NAO 指標已經乘以一個負號。(b) 同 a 圖，但為通過 95% 統計檢定。

