

北太平洋冬季大气年代际振荡 及其相关的 SST 变化*

吴爱明 胡敦欣 白学志

(中国科学院海洋研究所)

20 世纪 60 年代, Namias (1969) 就发现北太平洋海平面气压 (SLP) 存在 10 a 以上长周期的变化, 这种变化与北美冬季气温异常密切相关。70 年代以后, 又有人 (White *et al.*, 1972; Trenberth, 1990; Trenberth *et al.*, 1994) 对上述变化作了进一步的验证, 并指出 1976 年以后北太平洋的 SLP 异常偏低, 即阿留申低压异常偏强。以阿留申低压为主要活动中心的大气年代际振荡被称为北太平洋涛动 (NPDO), 它与北大西洋涛动 (NAO) 一起构成年代际气候变动最重要的观测依据, 北太平洋年代际振荡的机制也引起了人们的广泛兴趣。作为大气运动的缓变下垫面强迫之一的海表面温度 (SST), 它的异常变化对年际气候的显著影响已被公认 (Wallace *et al.*, 1981, 1998), 由此推断, 其对年代际时间尺度气候变化的影响可能也不可忽视。众所周知, SST 年际变化最显著区位于赤道中东太平洋 (如 Niño 3 区), 而与北太平洋年代际振荡显著相关的 SST 变化 (时间变化和空间分布) 又如何呢? 作者就这一问题, 分析了北太平洋大气环流年代际振荡的时、空变化特征, 并揭示了与之相关的 SST 变化的时间变化和空间分布。

一、资料与方法

1. 资料

1945 年 1 月—1993 年 12 月 COADS 全球 $1^\circ \times 1^\circ$ 月平均 SST 距平; 1949 年 1 月—1998 年 10 月 NCEP 再分析 500 hPa 全球 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 高度场资料。

2. 方法

(1) 低通滤波, 用一个四极低通滤波器 (4-pole low-pass filter; Kaylor, 1977) 将原距平序列滤掉周期在 10 a 以下的变化, 即得到其年代际信号。

(2) 经验正交函数展开 (EOF), 用来揭示某物理量场主要模态的时间变化和空间

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 3888 号。

国家自然科学基金资助项目, 49906003 号。

收稿日期: 1999 年 10 月 8 日。

分布。

(3) 通过 Morlet 小波变换, 揭示时间序列的时间-频率(或周期)结构。

(4) 奇异值分解(SVD)(丁裕国等, 1996)用于提取两个场的优势耦合信息, 揭示显著相关型的分布。

二、北太平洋冬季大气年代际振荡的时空特征

1. 时间结构

若用赤道太平洋 SST 异常(如 Niño 3 海温指数)与北半球冬季中、高纬大气环流异常求单点相关(Wallace *et al.*, 1981), 或直接对北半球冬季大气高度场距平进行 EOF 分解, 均会发现主要的遥相关型或主要模态的分布呈明显的波列结构, 在太平洋-北美地区有非常清楚的 PNA 波列存在, 其主要的 4 个活动中心依次出现在北太平洋副热带地区、北太平洋、加拿大及美国东南部, 据此, 人们给出 PNA 指数的定义为(倪允琪, 1993)。

$$\text{PNA} = 0.25[z^*(20^\circ\text{N}, 160^\circ\text{W}) - z^*(45^\circ\text{N}, 165^\circ\text{W}) + z^*(55^\circ\text{N}, 115^\circ\text{W}) - z^*(30^\circ\text{N}, 85^\circ\text{W})]$$

其中, z^* 表示北半球冬季(取每年 1 月份) 500 hPa 位势高度距平(这里距平是相对于 50 a 平均的距平值)。

图 1b 给出 PNA 指数(1949—1998 年) Morlet 小波变换系数(实部)的时间-周期(频率)分布(阴影为正值区, 这里只截取了周期在 8 a 以上的部分)。从图 1 中可以看

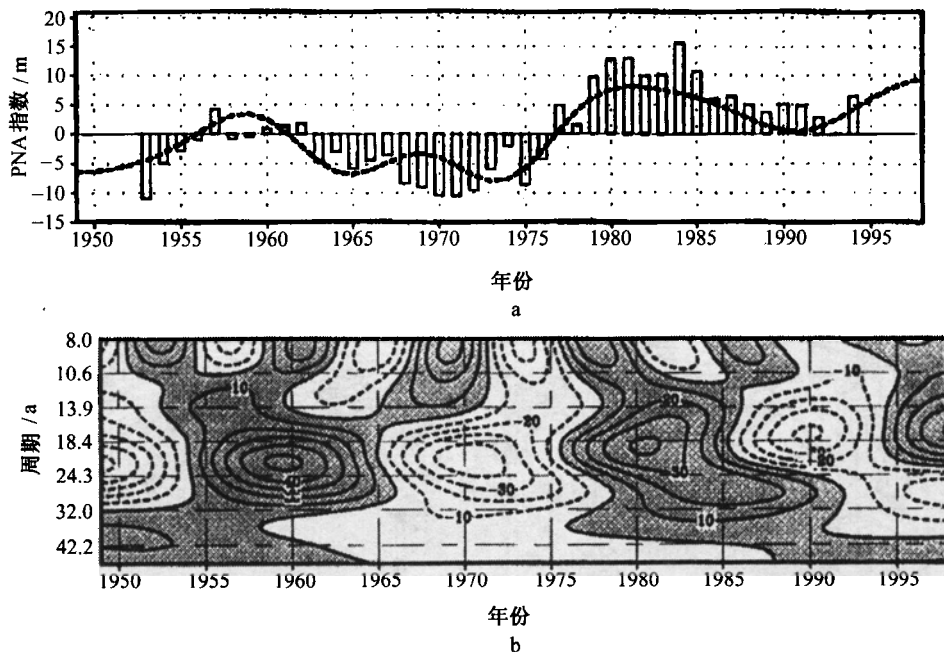


图 1 PNA 指数的年代际变化

a. 9 年滑动平均和低通滤波的结果(分别由竖条和虚线表示);

b. PNA 指数 Morlet 小波变换系数(实部)的时间-周期分布(阴影为正值区)

出, 在 14—32 a 周期段上 PNA 指数有显著的变化, 中心主要出现在 16—22 a 之间。从时间变化上看, 正、负距平交替出现 (20 世纪 50 年代初为负、1954—1965 年为正、1965—1975 年为负、1976 年之后和 1994 年之后为正, 20 世纪 80 年代后期和 90 年代初为负), 另外, 随着时间的变化, 高值中心有向高频区缓慢频移现象 (从 20 世纪 50 年代初的 22 a 变至 20 世纪 90 年代的 16 a)。总之, PNA 指数具有显著的年代际变化。

通过对 PNA 指数进行低通滤波 (仅保留年代际信号) 和 9 a 等权重滑动平均, 分别得到 PNA 指数的时间变化 (图 1a), 使年代际变化更为清楚。除 20 世纪 50 年代后期的弱正距平外, 1976 年前全为负距平 (尤其是 1970 年左右); 1977 年以后则全为正距平, 1990 年左右有一次下降, 但又很快回升。图 1a 中的 PNA 指数变化显然与图 1b 中小波系数的分布完全对应, 两图均显示 1977 年是北太平洋大气环流年代际变化的转折点。

2. 北太平洋冬季大气环流年代际分量的 EOF 分解

首先将 1949—1998 年 1 月的 500 hPa 高度场距平序列进行低通滤波, 得到其年代际分量, 选取太平洋-北美地区 (0° — 80° N, 120° E— 60° W) 的高度场距平进行 EOF 分解, 其第一模态的方差贡献为 34.8% (图 2a, b)。从时间变化上看, 变化趋势与图 1a 中的曲线基本一致, 1977 年后全为正, 之前全为负, 1977 年是由负变正的转折点, 1990 年之后的正值呈不断增强的趋势。从空间分布上看, 北太平洋上为一闭合的负值区, 中心位置约为 170° W, 45° N, 这就是典型的北太平洋振荡型, 其东北部是一个闭合正值区, 强度较强, 中心位于加拿大的西海岸。结合时间序列可知, 1977 年前 (后) 北太平洋 500 hPa 高度场偏高 (低), 这与 Trenberth (1990, 1994) 的分析结果是一致的。

EOF 第二模态 (图 2c, d) 的方差贡献为 26.1%, 从时间变化上看, 主要是正、负交替的年代际振荡, 值得一提的是, 1977 年仍然是由负变正的一个转折点, 20 世纪 80

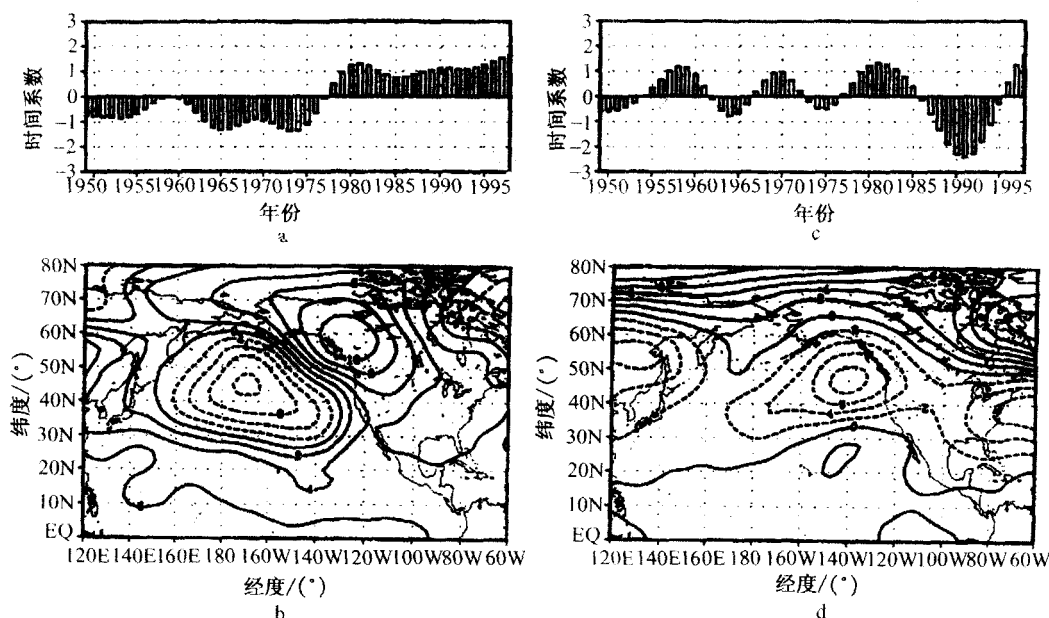


图 2 北太平洋冬季 500 hPa 高度场年代际分量 EOF 分解

a. 第一模态的时间序列; b. 第一模态的空间分布; c. 第二模态的时间序列; d. 第二模态的空间分布

年代后期和 90 年代初期为较强的负值。从空间分布上看, 北太平洋中纬度地区及其东西两侧均为负值, 其北部为正值区。结合图 2c, d 可知, 在该模态中, 20 世纪 70 年代后期与 80 年代前期北太平洋高度场为负距平, 20 世纪 80 年代后期和 90 年代初期为正距平, 1995 年后又转为负距平。

如果考虑第一、二模态的叠加(或合成)则不难看出, 图 1a 中 PNA 指数在 1990 年左右正距平的下降主要是由 EOF 的第二模态所引起, 第二模态的加入虽不影响时间变化的大致趋势, 但影响到具体位相上强度的大小。

三、与北太平洋大气年代际振荡显著相关的 SST 变化

用 1949—1993 年太平洋-北美地区冬季(1 月份) 500 hPa 高度场距平年代际分量场序列(作为左场)和同期的太平洋 SST 距平场原始序列(不进行任何滤波处理, 海温范围 30°S — 60°N , 120°E — 60°W , 作为右场)进行 SVD 分解, 第一模态(图 3)的联合协方差贡献为 58.8%。

对大气场而言, 其时间变化(图 3a 实线)、空间分布(图 3b)及 EOF 第一模态的结果(图 2a, b)十分相近[图 3b 中的阴影区表示异性相关系数(左场)超过 99% 的信度 0.38], 说明 EOF 第一模态揭示的也就是与 SST 显著相关的大气振荡型。对海温场而言, 由其时间序列(图 3a 虚线)可以看出, 除年际变化外, 亦表现出显著的年代际变化, 1977 年后(1989 年除外)全为正距平。我们对上述 SST 时间序列又进行了 Morlet 小波变换, 其系数(实部)的时频分布(图 4)在年代际周期段上的分布与图 1b 完全一致, 最显著的变化存在于 14—32 a 周期段, 而年际时间尺度的变化处于次要地位(相应小波系数的量值较小)。

图 3c 给出了异性相关系数(右场)的空间分布, 它的意义是左场(即大气场)第一模态时间序列与右场原始序列的相关, 图中阴影区(相关系数)的绝对值已超过 99% 的信度。可见, 北太平洋中纬度为显著的负相关区, 表示当该地区 SST 距平为负(正)时, 大气场的时间序列为正(负)值。由图 3b 可知, 北太平洋大气高度场距平为负(正)。即此时北太平洋 SST 与该地区大气高度场呈正相关。此外, 160°W 以东, 包括上述负相关区则为显著的正相关, 东太平洋的赤道南侧也存在一块显著的正相关区。必须指出的是, 图 3c 的这种分布与太平洋 SST 年代际分量的 EOF 第一模态分布(图 5)极为相似, 说明与北太平洋大气年代际振荡显著相关的 SST 异常的空间分布也恰恰是 SST 年代际分量主要模态的分布。

所以, 不论从时间变化上看, 还是从空间分布上看, SVD 揭示的与北太平洋大气年代际振荡显著相关的 SST 变化很大程度上就是太平洋 SST 的年代际分量本身。也就是说, 同种时间尺度(都为年代际)的海洋-大气的相互作用仍然是主要的。

四、结论与讨论

1. 北太平洋冬季大气环流具有显著的年代际变化, 主要周期为 16—22 a。冬季 PNA 指数在 1977 年前基本为负距平, 1977 年后全为正距平, 1977 年是年代际变动的转折点。

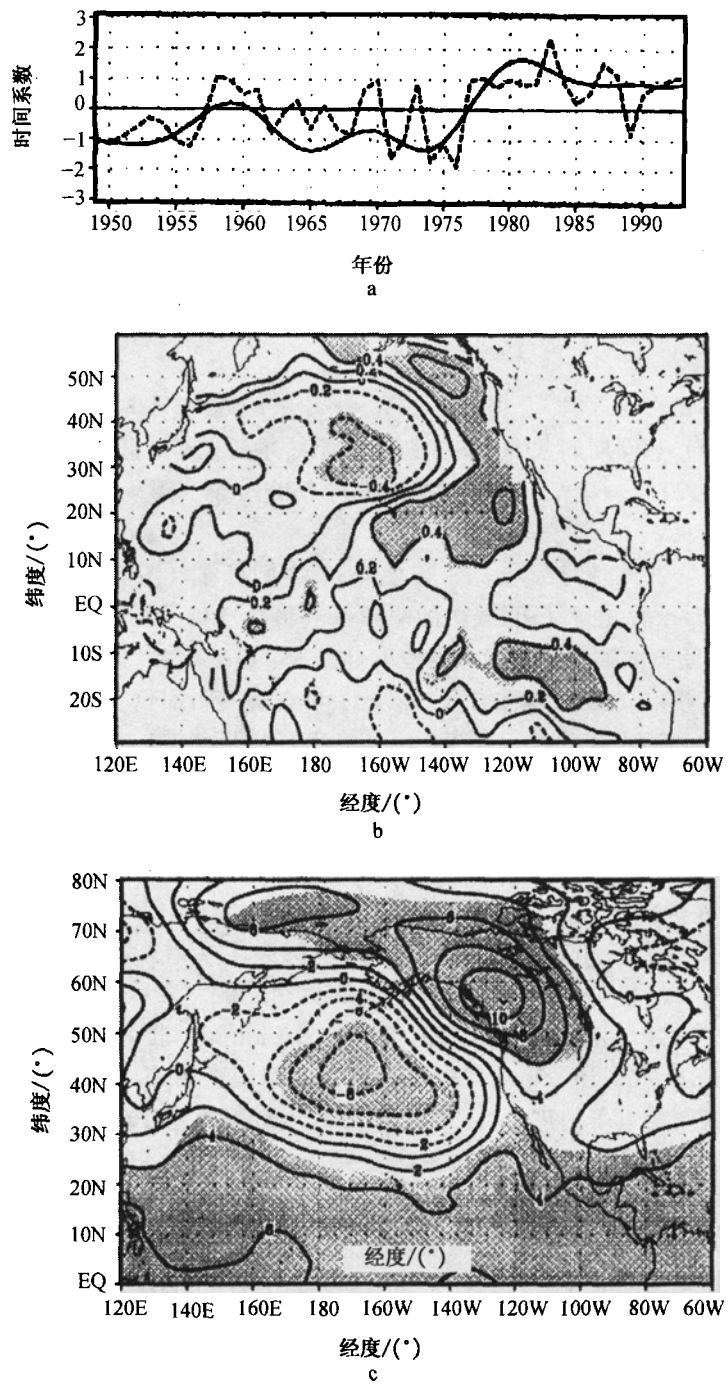


图3 太平洋-北美地区冬季 500 hPa 高度场距平年代际分量和同期的太平洋 SST 距平 (原序列)

SVD 第一模态结果

- a. 时间序列 (实线表示大气高度场, 虚线表示海温场); b. 大气场 (左场) 的空间分布 (阴影区为异性相关系数超过 99% 的信度水平); c. 异性相关系数 (右场) 的分布 (阴影区为相关系数超过 99% 的信度水平)

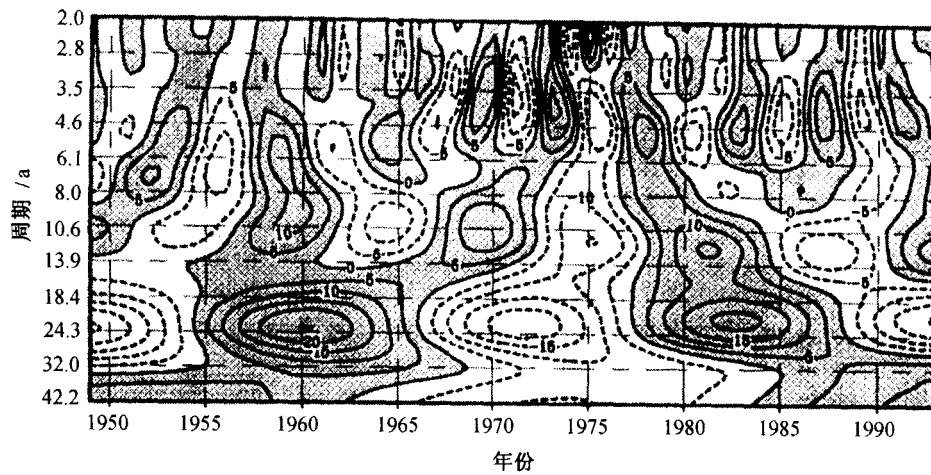


图4 SVD 第一模态右场 (SST) 时间序列 Morlet 小波变换系数 (实部) 的时频分布

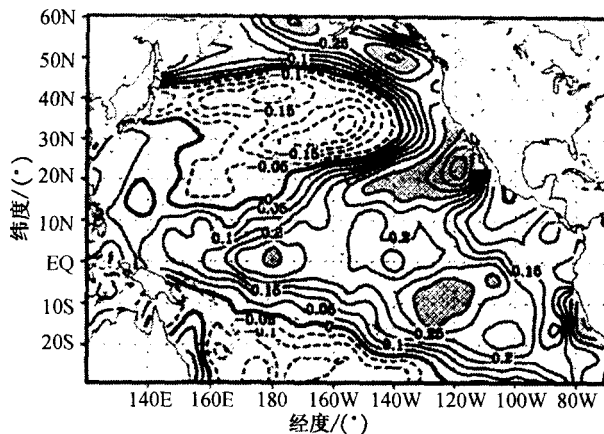


图5 太平洋 SST 年代际分量 EOF 第一模态的空间分布

2. 北太平洋冬季大气高度场年代际分量主要模态 (EOF1) 揭示的时间变化仍以 1977 年为 50 a 来惟一的转折点, 而空间分布即为典型的 NPDO 结构, 1977 年前 (后), 北太平洋冬季大气位势高度场偏高 (低)。

3. 与北太平洋冬季大气年代际振荡显著相关的 SST 变化很大程度上就是太平洋 SST 的年代际分量本身, 即海-气相互作用具有尺度选择性, 同种时间尺度之间的作用仍占主导地位。

应当指出的是, 本文仅仅是用统计分析的方法揭示了与北太平洋大气年代际振荡显著相关的 SST 时间变化和空间分布, 然而“显著相关”并不等于“显著影响”, 更无法知道这些区域 (如赤道和北太平洋) SST 异常对大气环流异常相对贡献的大小, 这只能通过数值试验才能得以解决。

参 考 文 献

- 丁裕国、江志红, 1996, SVD 方法在气象场诊断中的普适性, *气象学报*, **54** (3), 365—371.
- 吴爱明、胡敦欣, 2001, 太平洋表层海温的年代际变化, *海洋科学集刊*, 43:1—5.
- 倪允琪, 1993, 气候动力学, 气象出版社, 50—51.
- Kaylor, R., 1977, Filtering decimation of digital time series, Technical Note BN 850, Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland.
- Namias, J., 1969, Seasonal interaction between the North Pacific ocean and the atmosphere during 1960's, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 173—192.
- Trenberth, K., 1990, Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988—993.
- Trenberth, K. and J. Hurrell, 1994, Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Clim. Dyn.*, **9**:303—319.
- Wallace, J. and D. Gutzler, 1981, Teleconnection in the geopotential height field in the northern hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, **109**:784—812.
- Wallace, J., E. Rasmusson, T. Mitchell *et al.*, 1998, On the structure and evolution of ENSO-related climate variability in the tropical Pacific: Lessons from TOGA, *J. Geophys. Res.*, **103**(C7):14169—14240.
- White, B. and T. Barnett, 1972, A servomechanism in the ocean/atmosphere system of the mid-latitude North Pacific, *J. Phys. Oceanogr.*, **2**:372—381.

INTERDECADAL VARIABILITY OF ATMOSPHERIC CIRCULATION OVER THE NORTH PACIFIC AND ITS RELATED SST VARIATION*

Wu Aiming, Hu Dunxin, Bai Xuezhi

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

ABSTRACT

Based on the NCEP-reanalyzed atmospheric data and COADS SST data for the recent 50 years, interdecadal oscillation of the atmospheric circulation over the North Pacific Ocean in winter and its related temporal and spatial variations of SST were examined. The results indicate significant interdecadal variability of the atmospheric circulation over the North Pacific Ocean with principal periods of 16—22 years. Before 1977, PNA indices were basically negative but positive after 1977, a turning point year of interdecadal variability. The temporal change revealed by the first mode (EOF1) of the interdecadal component of the atmospheric height over the Pacific Ocean in winter, showed that 1977 was the only turning point in the recent 50 years, while the spatial distribution is of typical NPDO structure-before/after 1977 the atmospheric potential height over the North Pacific Ocean was higher/lower. SST changes associated with interdecadal oscillation of atmospheric circulation over the North Pacific Ocean in winter to large extent are the SST interdecadal components themselves, i. e. air-sea interaction possesses selectivity in time scale.

* Contribution No. 3888 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.