

北太平洋海平面气压的 EOF 分析与北方涛动

陈烈庭 严邦良

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用自然正交函数(EOF)分析方法,对1951—1980年北太平洋月平均海平面气压距平场进行分解,讨论了自然正交函数前两个最重要的特征向量的空间分布及其年际变化的特征,指出第一特征向量的模型在西太平洋低纬地区有最大的凝聚,其时间系数序列与马尼拉站气压距平的年际变化很相似,而第二特征向量的模型在东太平洋副热带地区有最大的凝聚,其时间系数序列与Ship N站气压距平的年际变化也很一致,并且由这两个特征向量的时间系数定义的北方涛动指数同由Ship N和马尼拉两个单站的气压距平定义的北方涛动指数之间有很好的对应关系,由于第一和第二特征向量的大尺度特征,及其表示了北太平洋气压年际变化总方差的30.5%,可以认为,马尼拉和Ship N站的气压距平在空间上是有代表性的,并且北方涛动在北太平洋大气环流年际变化中占有头等重要地位。

一、引 言

大气中低频环流的活动与长期天气和气候变化有密切联系,近十多年来,国内外对它的基本特征、演变规律、以及形成和变化的物理原因曾作了许多研究^[1-7],是长期天气预报和气候研究极有成就的一个方面。月以上时间尺度的低频环流的空间结构,具体表现为一些地理位置上准稳定的大气活动中心组成的各种特殊模型,它们尽管具有各自演变的特点,形成和变化的物理原因也不尽相同,但都是属于驻波的性质。早期Walker^[8]确立的三大涛动(南方涛动、北太平洋涛动和北大西洋涛动)就是全球大气最典型的低频振荡的例子。近年Wallace^[2]等用冬季的月平均海平面气压和500 hPa高度等资料,详细地分析了北半球中高纬的各种遥相关,除证实了北太平洋和北大西洋涛动客观存在外,还确定了一些新的遥相关模型,其中研究比较多的有“太平洋北美模型(PNA)”,它与“El Nino-南方涛动(ENSO)”关系密切^[9-13],所有这些遥相关型都提供了低频大气不同地区或系统之间联系的证据,它们的年际变化对各地天气气候具有重要影响。目前,一般认为,ENSO是发生全球性气候异常最强的信号。

在报告[14]中,我们分析了北太平洋各区气压距平年际变化的关系,发现东太平洋Ship N站(31°N, 140°W)和西太平洋马尼拉站(14°31'N, 121°E)的气压距平存

1986年12月6日收到,1987年3月10日收到修改稿。

在明显相反变化的趋势,提出了“北方涛动”的概念,并指出该涛动的年际变化与赤道太平洋海温、降水和 Walker 环流等有密切关系^[15],为低频大气和太平洋海气相互作用的研究增添了新的内容,也为长期天气预报提供了新的依据。但是,Ship N 站和马尼拉站的气压在空间上的代表性如何,它们能否表征大范围气压变化的特征、以及北方涛动在太平洋大气环流变化中占何地位等问题,目前尚不甚了解。为此,本文改变原来以个别测站要素为基础的研究,采用自然正交函数(EOF)分析方法,以表征大范围分布的参数为依据,进一步探讨了这些问题。

二、资料处理

本文分析的要素为北太平洋月平均海平面气压,资料年代从 1951—1980 年,其中 1951—1976 年资料取自东北低温冷害会战组,1977—1980 取自西德出版的大天气形势图。研究范围为 10° — 50° N, 100° E— 120° W。气压场共取 40 个格点,网格点纬距为 10° 、经距为 20° 。这个格点数对于 EOF 分析是比较合适的,如果格点太少会影响特征向量模型的空间分辨率,而太多又会导致每个特征向量置信度减少。另外,为了缩小气压变化的纬度差异,我们对每个格点的气压资料进行了标准化的处理。

由于北方涛动是北太平洋东部和西南部气压距平反号的现象,所以必须从气压资料中除去年变化部分。这样,EOF 分析所得到的特征向量时间系数序列将不再含有明显的年变化,而只呈现出气压距平年际变化的特征。然而,为了估计年际变化对气压变化总方差的相对贡献,我们也对包括年变化的资料进行了同样的 EOF 分析。显然,对于前者,由于振幅较大的年波已从资料中除去,其第一特征向量的特征值与包括年变化的第一特征向量的特征值相比,将大为减小。我们共计算了气压场前 10 个特征向量,但这里只讨论与本文目的有关的部分。

三、结 果

图 1a 是北太平洋气压距平第一特征向量的空间分布。为了清楚起见,图中 40 个格点的数值已经过变形,即每个数值被 40 个值中最大绝对值除,使特征向量的空间分布最大格点值等于 +1 或 -1,而其余格点的值都在 +1 与 -1 之间(下同)。这个特征向量分布解释了该区气压年际变化总方差的 16.47%。北太平洋西南部的振幅最大,说明该区的气压距平有最大的年际变率,并且其变化同东北太平洋气压距平反相。因此,第一特征向量的空间分布突出地反映了西太平洋低纬地区一些热带天气系统活动的特征,及其与其它地区环流变化的联系,揭示了北方涛动在热带太平洋西部的“活动中心”的大尺度特征。图 1b 为第一特征向量的时间系数序列,图中纵坐标乘以各格点未经变形的振幅等于该特征向量造成的气压距平值。当时间系数为正时,表明西太平洋热带地区的气压偏高,东北太平洋的气压偏低。当时间系数为负时,情况相反。

图 2a 表示北太平洋气压距平第二特征向量的空间分布,它表示了该区气压年际变

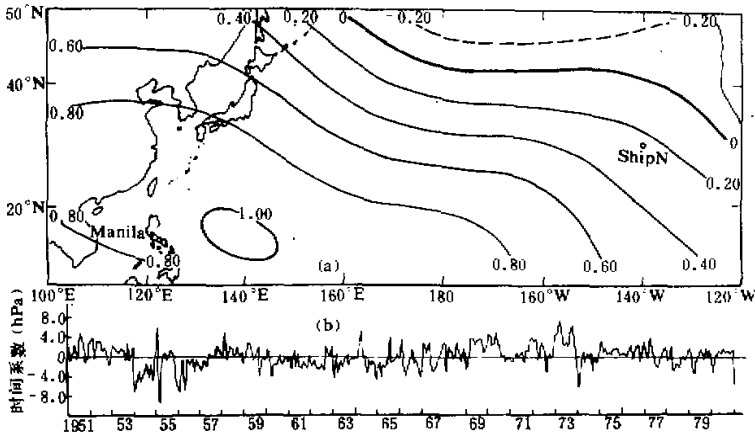


图 1 北太平洋气压距平第一特征向量的空间模型 (a) 和时间系数序列 (b)

化总方差的 14.01%，比第一特征向量的贡献略小一点。可以看出，北太平洋副热带地区为大范围东西向带状的负振幅区，外形与北太平洋副热带反气旋相似，而其中最大的振幅出现在东部，气压年际变化最大。西太平洋低纬地区为正振幅区，因此该特征向量的空间分布突出地反映了北太平洋副热带反气旋活动的特征，及其与西太平洋热带地区气压的反相关系，展示了北方涛动在北太平洋东部的“活动中心”的大尺度特征。图2(b)是第二特征向量的时间系数序列，当时间系数为正时，北太平洋副热带反气旋所在地区的气压偏低，西太平洋低纬地区的气压偏高，而当时间系数为负时，情况相反。

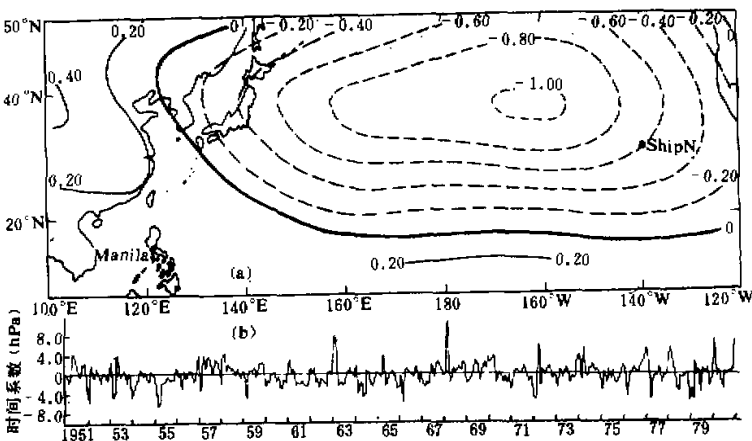


图 2 北太平洋气压距平第二特征向量的空间模型 (a) 和时间系数序列 (b)

四、讨 论

以上分析表明，第一和第二特征向量的空间模型是北太平洋气压距平场两个最重要的分布型式，并且具有清楚的天气学意义。下面我们进一步来讨论这两个特征向量的时

间系数年际变化的特征与马尼拉和 Ship N 站气压距平年际变化的关系, 以及北方涛动在北太平洋大气环流年际变化中的地位。

图 3 是第一特征向量的时间系数序列经过二次 5 个月滑动平均处理后的曲线。为了比较起见, 图中还给出了经过同样处理的马尼拉站的气压距平曲线。可以看出, 这两条曲线多年变化的趋势, 除个别年份外, 基本上是一致的, 只是位相稍有位移。这更清楚地表明, 第一特征向量的空间分布和时间系数序列实际是北方涛动在菲律宾群岛附近的“活动中心”的大尺度特征及其年际变化情况的表征。同时, 也说明了马尼拉站气压距平的变化在空间上是有相当代表性的。时间系数正值期出现在 1951—1953, 1957—1958, 1963, 1968—1970, 1972—1973 和 1975—1976 年, 其间是负值时期。正值期与 El Nino 现象之间有一一对应的关系, 其出现间隔从 2—5 年不等, 大致五六十年代为 4—5 年, 七十年代为 2—3 年。负值期基本上与反 El Nino 年对应。因此, 在 El Nino 年, 北太平洋西南部的气压明显偏高、东北部的气压偏低, 反 El Nino 年相反, 北太平洋西南部的气压明显偏低, 东北部的气压偏高。这结果与我们过去工作的结论一致^[15]。

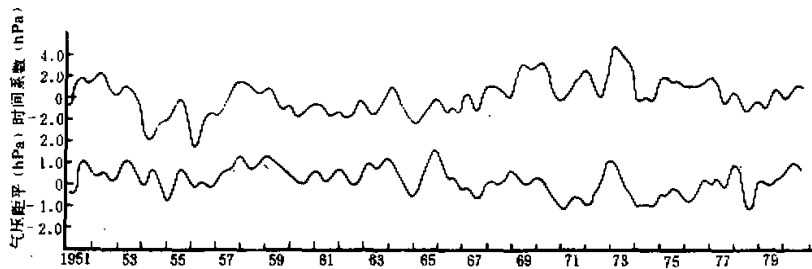


图 3 北太平洋气压距平第一特征向量时间系数和马尼拉气压距平的多年变化曲线(2 次 5 个月滑动平均)

图 4 是第二特征向量的时间系数序列和 Ship N 站的气压距平经过二次 5 个月滑动平均处理后的曲线。可以清楚地看出, 这两条曲线的多年变化存在明显相反的趋势。由于第二特征向量的空间分布(见图 2a)在北太平洋副热带地区为负振幅, 因而该特征向量的时间系数正值意味着该区的气压偏低, 负值意味着偏高。所以, 实际上, 它所反映的气压变化在副热带地区与 Ship N 站气压的变化是一致的, 即 Ship N 站的气压偏高(低), 北太平洋副热带地区的气压也偏高(低)。这也进一步证实第二特征向量的空间分布和时间系数序列实际是北方涛动的另一个大气活动中心——北太平洋副热带反气旋年际变化情况的表征, 并且也说明了 Ship N 站气压距平的变化在空间上是有相当代表性的。第二特征向量的时间系数在 1951, 1957—1958, 1963, 1968—1969, 1974, 1976—1977 和 1980 年为较大的正值, 其中大部分年份曾出现 El Nino 现象, 中间负值期基本与反 El Nino 年对应。因此, 在 El Nino 年北太平洋副热带反气旋的强度偏弱, 反 El Nino 年偏强。这结果与我们过去工作的结论也是一致的^[15]。

根据以上分析, 我们可以用第一和第二特征向量的时间系数定义一个新的代表大尺度特征的北方涛动指数, 即取第二特征向量时间系数的反号与第一特征向量时间系数之差来表征北方涛动的强度。结果如图 5 所示。为了比较起见, 图中也给出了由 Ship N 和马尼拉两个单站的气压距平之差定义的北方涛动指数。可以看出, 这两条曲线的变

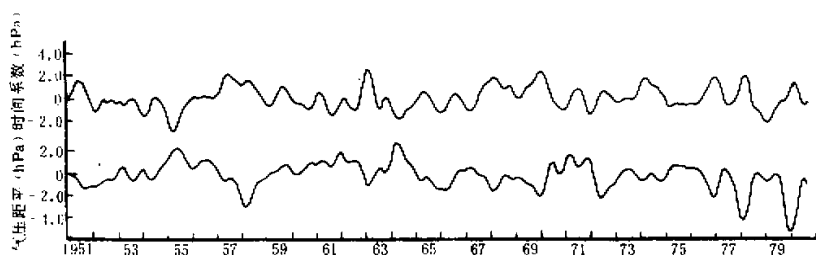


图4 北太平洋气压距平第二特征向量时间系数和Ship N站气压距平的多年变化曲线(2次5个月滑动平均)
化,除1965—1966年外,是非常相似的,相关系数达到0.47,超过0.001倍度水平($N=352$).其中1951,1957—1958,1963,1968—1969,1972—1973,1976,1978和1980年为北方涛动低指数时期,而1954—1956,1960—1962,1964—1967,1970和1979年为高指数时期。两者有一一对应的关系,说明上述以Ship N和马尼拉两个代表站的气压距平定义的北方涛动指数是可取的。

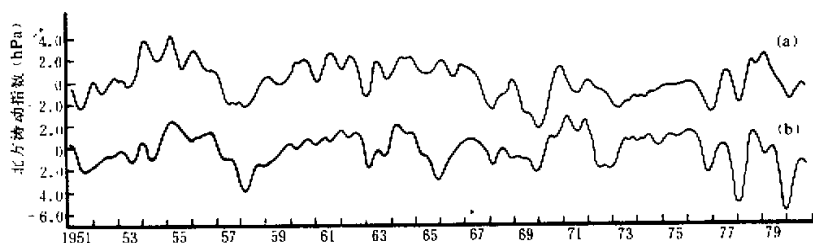


图5 第一与第二特征向量的时间系数定义的北方涛动指数(a)和Ship N与马尼拉站的气压距平定义的北方涛动指数(b)

现在我们讨论北方涛动在北太平洋大气环流年际变化中的地位。

表1是分别用包括年变化和去掉年变化的两种北太平洋气压资料进行EOF分析而得到的前10个特征向量特征值的百分率,它的大小表示各特征向量对气压总方差的贡献。包括年变化的第一特征向量表示了气压总方差的42.3%,其时间系数序列分析表明(图略)它是年变化最主要的模型。第二特征向量对总方差的贡献为15.9%,它的时间系数序列(图略)既显示出比较强的年变化,又存在年际变化的特征。如果我们把它也算作年变化的模型,那么年变化对总方差的累积贡献则为58.2%。而其余所有高阶的特征向量为年际变化的模型,其对总方差的累积贡献应占41.8%。但由于我们只取前10个特征向量,所以实际没达到这个数值。去掉年变化的前10个特征向量对年际变化的累积贡献,由表1可以看出为76.1%。这样,58.2%加上余下的41.8%中的76.1%等于90.0%。这个量与包括年变化的前10个特征向量的累积贡献89.4%相当,说明气压场的年际变化部分与距平场基本相当。去掉年变化的第一和第二特征向量的累积贡献,占了年际变化总方差的30.5%,因而研究这两个主要特征向量的变化规律足可以反映北太平洋气压距平场的主要变化特征。也就是说,北方涛动在北太平洋大气环流年际变化中占有头等重要地位。

表 1 北太平洋气压前 10 个特征向量特征值的百分率及其累积量

特征向量		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
包括年变化	特征值百分率	42.3	15.9	9.3	5.3	4.0	3.5	2.9	2.9	1.7	1.6
	累积量		58.2	67.5	72.8	76.8	80.3	83.2	86.1	87.8	89.4
去掉年变化	特征值百分率	16.5	14.0	10.4	7.8	6.9	5.1	4.7	4.1	3.6	3.0
	累积量		30.5	40.9	48.7	55.6	60.7	65.4	69.5	73.1	76.1

五、结 论

从以上分析和讨论,可以得到以下几点结论:

(1)第一和第二特征向量的空间模型揭示,西太平洋低纬地区和东太平洋副热带地区是北太平洋研究范围内气压年际变化最大的两个地区,而且它们之间的气压距平呈现明显的反相振荡。这两个地区正是北方涛动两个“活动中心”之所在,因而进一步验证了北方涛动存在的真实性。

(2)第一和第二特征向量解释了北太平洋气压年际变化总方差的 30% 左右。这说明北方涛动是北太平洋大气环流年际变化最主要的信息。

(3)第一和第二特征向量时间系数序列分别与马尼拉和 Ship N 站气压距平年际变化趋势基本一致。说明这两个单站的气压距平在空间上有很好的代表性,可以用来表征北方涛动的大尺度特征。

参 考 文 献

- [1] Van Loon, H. and J. C. Roger, 1978, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 296—310.
- [2] Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784—812.
- [3] Horel, J. D. and J. M. Wallace, 1981, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813—829.
- [4] Namias, J., 1981, *Proceedings of the Sixth Annual climate Diagnostics Workshop*, New York, October 14—16, 95—104.
- [5] Gambo, K. and K. Kudo, 1983, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 36—50.
- [6] Blackmon, M. L., Y.-H. Lee and J. M. Wallace, 1983a, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 961—979.
- [7] Blackmon, M. L., Y.-H. Lee, J. M. Wallace and H.-H. Hsu, 1983b, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 981—991.
- [8] Walker, G. T. and E. W. Bliss, 1932, *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **4**, 53—84.
- [9] Bjerknes, J., 1969, *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163—172.
- [10] Wyrtki, K., 1975, *J. Phys. Oceanogr.*, **5**, 572—584.
- [11] Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter, 1982, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354—384.
- [12] Philander, S. G. H., 1983, *Proceedings of the WMO—CAS/JDC Expert Study Meeting on Long—Range Forecasting*, Princeton, 1—4 December 1982, 72—83.
- [13] Rasmusson, E. M. and J. M. Wallace, 1983, *Science*, **222**, 1195—1202.
- [14] 陈烈庭, 詹志强, 1984, 科学通报, **29**(8), 481—483.
- [15] 陈烈庭, 1984, 科学通报, **29**(19), 1190—1192.