

北方涛动同北半球温带大气环流的遥相关(一)——基本结构*

陈烈庭 吴仁广

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用1951—1980年逐季的平均值资料(共120个季)讨论了北方涛动和与其相联系的北太平洋海温与北半球海平面气压场、500 hPa位势高度场遥相关的基本结构,并与南方涛动和赤道东太平洋海温的结果进行了对比分析。发现北太平洋 Namias 海区 and 加利福尼亚海流区海温的变化与北方涛动具有很密切的联系;北方涛动和这两个海区的海温同北半球中高纬度大气环流特别是 PNA 型和 NAO 型环流异常存在明显的遥相关关系;南方涛动和赤道太平洋海温同 WP 型或 NPO 型环流异常关系比较密切,而与 PNA 型和 NAO 型的关系不如北方涛动和 Namias 海区及加利福尼亚海流区海温的显著。

关键词: 北方涛动; 海温; 高度场; 遥相关型。

一、引 言

近十多年来,热带太平洋海气相互作用的研究取得了很大的进展,其中一个很重要的方面就是通过对大量资料分析,进一步证明了厄尔尼诺 / 南方涛动(ENSO)现象是全球大气环流和年际气候变化的重要原因,尤其是揭示了 ENSO 与北半球中高纬度所谓太平洋 / 北美(PNA)型大气环流异常的关系^[1-3]。这些结果,不仅从观测分析,而且从数值试验和理论研究方面说明了赤道太平洋海温异常可以通过二维 Rossby 波传播到中高纬度地区,并在那里产生类似 PNA 流型的分布型式。

然而,最近 Wallace 的研究指出^[4],赤道太平洋海温与北半球 500 hPa 和 1000hPa 位势高度场之间的相关型的结构,主要表现为以加拿大北部为圆心的两个几乎连续的同心圆环,同 PNA 流型实际上很不一样,而北太平洋中纬度 32° N、165° W 附近区域(即 Namias 海区)平均的海温与北半球 500hPa 高度场的相关型,同赤道太平洋海温的相关型比较,不仅相关更强,而且与 PNA 流型也更为相似。他认为以前得到的关于热带同温带遥相关的某些概念(包括遥相关场的成因和主要特征)可能有必要重新考虑。这方面 Namias^[5]早在 60 年代就强调了北太平洋中部海温的作用,以及它对后期北太平洋和北美特有的“气候型”的影响,指出北太平洋中部秋季的异常暖水区上,冬季有强烈的气旋活动,北太平洋中部的高空槽发展,并通过能量频散作用使在其下游的北美西海岸建立起一长波脊,在美国东海岸附近建立起一长波槽,即形成 PNA 型大气环流

1989年8月9日收到,11月1日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

异常。这 PNA 流型最近在 Pitcher 等^[6]关于北太平洋海温的数值试验中亦已模拟出来了。他们的模拟结果表明,模式大气对北太平洋中纬度 SST 异常的响应(高度、风、温度异常)类似于对赤道太平洋 SST 异常的响应。因此看来, PNA 流型的成因是多方面的,除了赤道太平洋海温外,温带太平洋海温可能也起着重要作用。

本文中我们首先分析北方涛动和北太平洋海温的关系,然后在此基础上,进一步探讨北方涛动和与其相联系的北太平洋某些海区的海温同北半球中高纬度大气环流长期变化的联系,并与南方涛动和赤道太平洋海温的结果进行了比较。在第二部分中,我们将讨论其季节变化的特征。

所用资料主要是美国国家气象中心(NMC)的北半球海平面气压和 500 hPa 高度资料,以及美国海洋大气资料集(COADS)的海温资料。海平面气压范围为 $20^{\circ} - 85^{\circ}\text{N}$, 格距为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬度。500 hPa 高度为 NMC 的八边形网格范围。海温格距为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 经纬度。所用资料的时期为 1951 到 1980 年,共 120 个季。

二、北方涛动与北太平洋海温的关系

北方涛动是近几年在北太平洋热带地区发现的一种东西向的振荡^[7],其特征为北太平洋东部副热带反气旋的气压距平与菲律宾群岛低压带的气压距平之间的反相变化。北方涛动的强度以其两个大气活动中心的代表站 ShipN (31°N , 140°W) 和马尼拉 ($14^{\circ}31'\text{N}$, 121°E) 的月平均气压距平差来表示,并称之为北方涛动指数。经验正交函数(EOF)分析表明^[8],北方涛动是北太平洋海平面气压距平场最主要的空间型,并在北太平洋大气环流的年际变化中占有头等重要地位。

图 1 是 1950—1979 年北方涛动指数与太平洋海温场之间的同时相关分布(以月为基本单位)。根据显著性检验,图中的单斜线和双斜线区分别为超过 0.01 和 0.001 信度

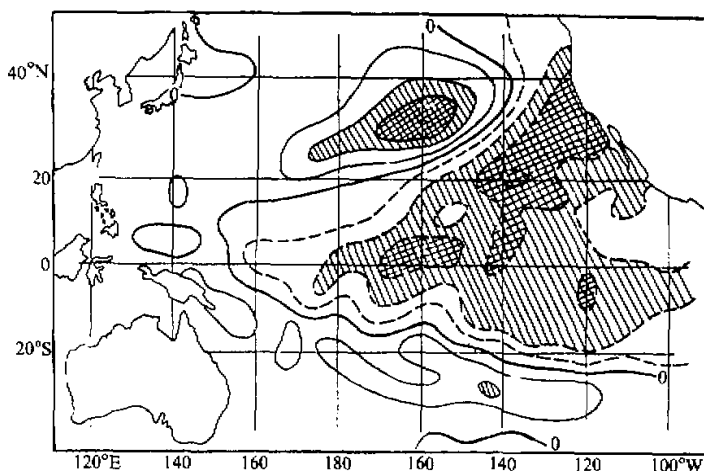


图 1 1950—1979 年北方涛动指数与太平洋海温同时相关分布^[9]

相关系数等值线间隔为 0.10。

水平的区域,可以看出,在北太平洋 32°N 、 160°W 附近正相关区和沿加利福尼亚海流区的负相关区,不仅范围大,而且相关也较强,这表明北方涛动与北太平洋海温具有很密切的关系,而且有意义的是, 32°N 、 160°W 附近的正相关区正是 Namias 海区之所在. 为了进一步分析 Namias 海区和加利福尼亚海流区的海温与北方涛动的关系,我们取沿 35°N 三处 (170°W , 165°W , 160°W) 的平均海温距平和沿 15°N 三处 (145°W , 140°W , 135°W) 的平均海温距平分别代表 Namias 海区和加利福尼亚海流区的海温,用 1951—1983 年逐月资料计算了该二区海温与北方涛动指数的时滞相关(图略),结果表明上述二区海温与北方涛动指数之间存在着明显的滞后关系,以海温落后北方涛动指数约 1—2 个月的相关最大. 这清楚地表明北方涛动是 Namias 区海温异常变化的一个重要原因. 但值得注意的是北方涛动对北太平洋海温的影响并不限于 Namias 区,它对加利福尼亚海流区的海温也有同等重要的作用. 且前者为正相关,而后者为负相关,即两个海区的海温呈相反变化,这一相关场的结构反映了北方涛动与北太平洋海温东西向的振荡有密切关系,在北方涛动高指数时期,由于北太平洋洋面附近整个副热带反气旋性环流持续加强,西部海域向北的海流将海洋在热带接受的大量太阳辐射热加速输送到中高纬度海域,使北太平洋中部海温出现正距平,在东部海域,则由于冷水平流和加利福尼亚沿岸低层冷水上翻加强,海温出现负距平. 相反,在北方涛动低指数时期,北太平洋海温距平为东正西负的分布. 另外,在图 1 中,除了上述北太平洋的一对正、负相关区外,在赤道太平洋中部附近还有一个高相关区,说明北方涛动与赤道太平洋海温也有密切关系. 这与过去的分析结果是一致的^[10].

以上分析表明,北方涛动与北太平洋海温的联系具有空间尺度大和地区性强的特征,其中最敏感的地区主要是 Namias 海区和加利福尼亚海流区. Namias^[11]、Harnack 和 Broccoli^[12]的研究表明,北太平洋的大尺度异常海温梯度通过热通量的纬向差异可引起大气流型的异常. 因此,为了突出这两个与北方涛动相联系的海温距平相反海区的共同作用,即强调北太平洋中纬度纬向热力差异的作用,我们取 Namias 海区和加利福尼亚海流区的平均海温距平差作为北太平洋海温的参数,探讨其与北半球温带大气环流的遥相关. 在下面第三和第四节中,我们将进一步分析北方涛动和与其相联系的北太平洋海温与北半球海平面气压和 500 hPa 高度场的相关型,并与南方涛动和赤道太平洋海温的结果进行比较.

三、海平面气压场相关型的结构

1. 北方涛动和南方涛动的比较

图 2a, b 为 1951—1980 年北方涛动指数和南方涛动指数与北半球海平面气压场同时相关的分布. 根据显著性检验,图 2 中相关系数大于 0.20, 0.25 和 0.30 的地区分别为信度水平达到 0.05, 0.01 和 0.005 的区域(图 3 同). 这里指数的定义与一般用的一样,北方涛动指数以 ShipN 和马尼拉的海平面气压距平差来表示,南方涛动指数以塔希提(Tahiti)和达尔文的海平面气压距平差来表示,并且两个指数的时间序列都作了标准化处理.

北方涛动与北半球海平面气压的高相关区主要集中在太平洋、北美和大西洋地区,即在北方涛动所在的附近及其下游地区,而在欧亚大陆相关不显著(见图 2a)。不难看出:(1)在北太平洋到北美地区,相关区的分布呈明显的正负相间的型式,北太平洋东部为正相关中心,加拿大西部为负相关中心,美国东南沿海附近为正相关中心。因此,相关场表现了类似沿大圆走向的 Rossby 波列的型式。显然,这一相关型的结构与 Wallace 和 Gutzler^[13] 定义的 PNA 遥相关型十分一致。(2)在西太平洋地区,副热带为负相关中心,高纬度白令海附近为正相关中心,相关场表现为南北向的偶极结构,且与 Walker 和 Bliss^[14] 的北太平洋涛动(NPO)很相似。(3)在东大西洋地区,与西太平洋的情况相反,中纬度为正相关中心,高纬度格陵兰附近为负相关中心,相关场亦表现为南北向的偶极结构,且与 Walker 和 Bliss 的北大西洋涛动(NAO)很吻合。有意思的是,西太平洋相关场(南负北正)和东大西洋相关场(南正北负)的反向关系与 NPO 型和

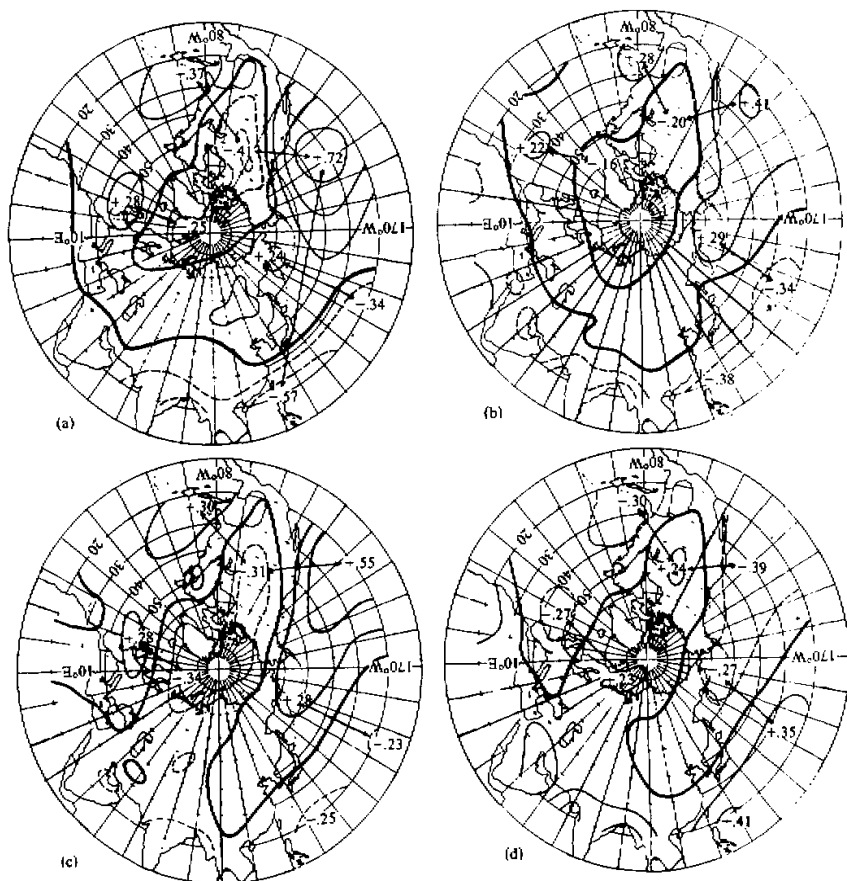


图 2 1951—1980 年 (a) 北方涛动指数, (b) 南方涛动指数, (c) 北太平洋海温和 (d) 赤道太平洋海温与北半球海平面气压场同时相关分布

相关系数等值线间隔为 0.20

NAO 型强度指数变化相反的特征也是一致的。此外,在西太平洋低纬度地区还有一个负相关中心,它和北太平洋东部的正相关中心正是北方涛动本身在海平面气压场上的反映。以上分析表明,在海平面气压场上,北方涛动与 PNA、NPO 和 NAO 等遥相关型都有很密切的关系。在北方涛动为正指数时期, PNA 型和 NPO 型环流异常减弱, NAO 型环流异常增强;在负指数时期,情况相反,其中尤以与 PNA 型的相关最为明显,三个地区的相关系数分别达到 $+0.72$ 、 -0.41 和 $+0.37$,都超过了 0.001 ($r=0.30$) 的信度水平。

南方涛动与北半球海平面气压场的相关分布(图 2b),从总的结构来看,同北方涛动的情况基本相似,但各相关中心的强度有明显不同。除 NPO 型的两个相关中心稍比北方涛动强外,其余各相关中心的强度都比北方涛动弱得多。因此,南方涛动和北半球温带对流层低层的遥相关,除了 NPO 型外,其它各型明显不如北方涛动的好。

2. 北太平洋海温与赤道太平洋海温的比较

我们选取 Namias 海区 and 加利福尼亚海流区的平均海温距平差来代表北太平洋海温。从图 1 可以看出,它可在更大程度上反映出北太平洋海温距平的大尺度分布特征。以 $5^{\circ}\text{N}—5^{\circ}\text{S}$, $180^{\circ}—80^{\circ}\text{W}$ 范围内各格点(格距为 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 经纬度)平均的海温距平代表赤道太平洋海温。图 2c、d 是这两个海区的海温与北半球海平面气压场的同时相关分布。Wright^[15]曾指出,北太平洋中纬度海温异常与北美西海岸至热带太平洋海温的异常有明显的反相关,尤其是在 El Niño 的成熟期。因此,在图 2c 和 2d 的相关场上,相关中心的符号正好相反。并且,由于这两个海区的海温与北方涛动和南方涛动关系密切,所以它们与图 2a、b 的分布也有着十分相似的特征。

比较图 2c 和 2d,可以看到它们之间也有明显不同之处。首先,在西太平洋地区,二者的相关场在高纬度和副热带地区各有一个显著的相关中心,但副热带地区的相关,赤道太平洋海温要比北太平洋海温更显著。这一相关事实可能说明, NPO 型环流的异常,主要是赤道太平洋海温影响的结果,而北太平洋海温的作用相对来说较小,尤其是副热带部分。Pitcher 等^[6]的模式大气对中纬度和赤道太平洋海温异常响应的比较也说明,在西太平洋地区,热带海温异常起主要作用。另外,图 2d 中副热带的正相关区恰好是 Hadley 环流的最大下沉区,这反映了 NPO 遥相关型形成的过程可能与 Hadley 环流有密切关系。Bjerknes^[16]曾指出,当赤道太平洋海温偏高时,海洋向大气提供较多的热量,加强 Hadley 环流的上升分支,把低纬度的角动量输送到中纬度,从而加强西风强度,并使副热带高压和阿留申低压发展。这与图 2d 的情形一致。作者^[17]曾详细地分析了北太平洋海平面气压场与赤道太平洋海温之间的时滞相关场演变过程,得到 NPO 型两个中心的气压变化落后于海温变化约 2—4 个月,并指出这两个中心的气压变化是赤道太平洋海温反馈的结果。

其次,在北太平洋东部—北美—北大西洋地区,二者的相关场, PNA 和 NAO 二个遥相关型都有明显的反映。但比较而言,北太平洋海温的相关比赤道太平洋海温的更为显著,尤其是高纬度至极区。这清楚地表明:对 PNA 和 NAO 两型环流的异常,北太平洋海温比赤道太平洋海温具有更重要的作用。这与上述 Wallace^[4]的结果是一致的。

四、500 hPa 高度场相关型的结构

图 3 是北方涛动指数、南方涛动指数、北太平洋海温和赤道太平洋海温与北半球 500hPa 高度场同时相关的分布。可以看出，不论是涛动指数还是海温，500 hPa 高度相关场的基本分布与海平面气压相关场的结构都有很大的相似性，尤其是在北太平洋—北美地区，组成 PNA 型的几个相关区高低层的分布很一致，这说明它们具有相当正压结构。特别值得注意的是，在海平面的相关型似乎比 500hPa 的更强些，Wallace^[4] 最近的分析也得到了类似的结果，这与以前一般认为 PNA 型在对流层中高层表现最清楚的看法显然不同。

比较图 3a 和 3b 可以看出，北方涛动和南方涛动与 500 hPa 高度相关的共同特征是，

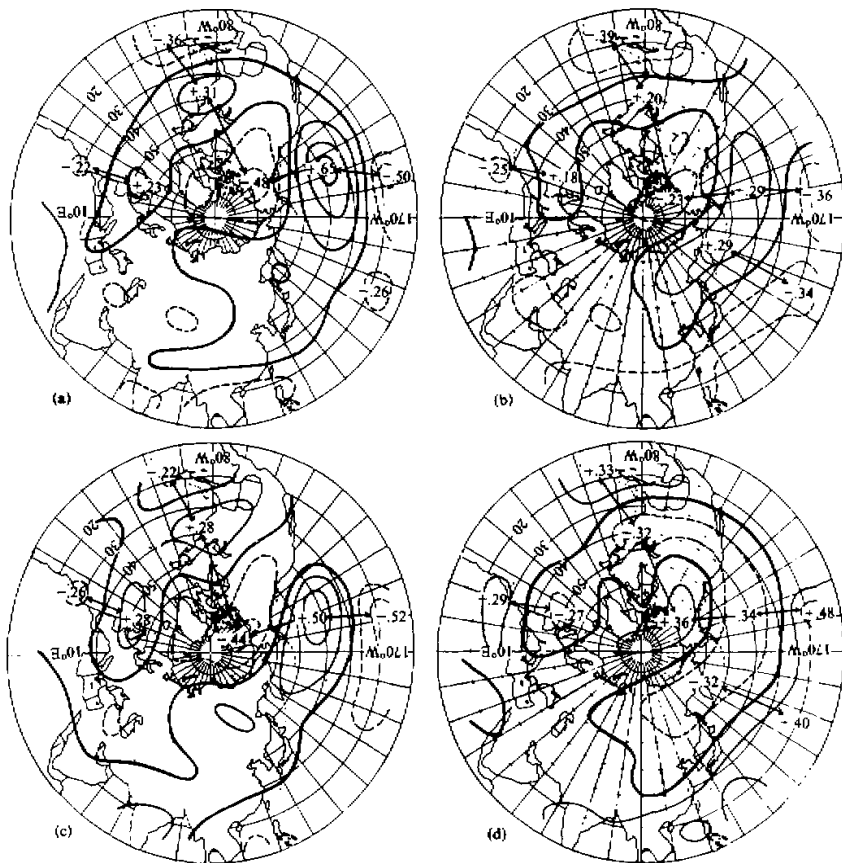


图 3 1951—1980 年(a)北方涛动指数(b)南方涛动指数、(c)北太平洋海温和(d)赤道太平洋海温与北半球 500 hPa 高度场同时相关的分布

相关系数等值线间隔为 0.20

在太平洋—北美地区从副热带太平洋向东北偏北方向经加拿大西部再转向东南到美国东南沿海,有五个正负相间的相关中心,除了大西洋西部副热带的相关中心南方涛动比北方涛动强外,其余几个中心均是北方涛动的相关比南方涛动的强得多,即北方涛动的 PNA 型比南方涛动的更明显。对比图 3c 和 3d,同样可以看出,北太平洋海温和赤道太平洋海温与 500 hPa 高度的相关也具有类似的特点,即北太平洋海温的 PNA 型比赤道太平洋海温的更加明显。这些对比反映了即使在对流层中层,北方涛动和与其相联系的北太平洋海温同 PNA 流型的联系也比南方涛动和赤道太平洋海温同 PNA 流型的联系强。

在西太平洋地区,从相关场的比较可以看出,南方涛动和赤道太平洋海温与 500 hPa 高度相关的 WP 型显著,而北方涛动和北太平洋海温与 500 hPa 高度相关的 WP 型不明显。这说明 WP 型与南方涛动和赤道太平洋海温的联系要比它与北方涛动和北太平洋海温的联系更加密切。

在北大西洋地区,EA 型显著性南方涛动和北方涛动相当,北太平洋海温与赤道太平洋海温相当,且以海温的较大。

五、结 论

从以上分析,我们初步可得到以下几点结论:

(1) 北太平洋 Namias 海区和加利福尼亚海流区海温的变化在很大程度上同北方涛动相联系。前者为正相关,后者为负相关,两区海温呈相反的变化,说明北方涛动可能是形成北太平洋海温东西向振荡的一个重要因素。

(2) 北方涛动和与其相联系的北太平洋海温与北半球中高纬度大气环流存在明显的遥相关,而且具有很强的地区性,其中以北太平洋—北美—北大西洋地区的遥相关较显著,特别是 PNA 流型。

(3) 从与南方涛动和赤道太平洋海温的对比分析结果来看,对于 PNA 型和 NAO 型环流的异常,似乎北方涛动和与其相联系的北太平洋海温具有更重要的作用;而对 WP 型或 NPO 型,南方涛动和赤道太平洋海温的影响可能较大。

(4) 海平面的遥相关型具有同对流层中层同样清楚的表现,甚至有的还更强些,特别是在中东太平洋—北美地区。

参 考 文 献

- [1] Horel, J. D., and J. M. Wallace, 1981, Planetary-scale Atmospheric Phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813—829.
- [2] Shukla, J., and J. M. Wallace, 1983, Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial sea surface temperature anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1613—1630.
- [3] 黄荣辉, 1986, 冬季低纬度热源异常对北半球大气环流影响的物理机制, *中国科学(B辑)*, 第1期, 91—103.
- [4] Wallace, J. M., 1988, Observational evidence concerning large-scale atmospheric/ocean interaction in the Pacific, *Proceedings of the Japan-US Workshop on the El Nino Southern Oscillation Phenomenon*, University of Tokyo, November 3—7, 1987, 3—10.
- [5] Namias, J., 1969, Seasonal interactions between the north Pacific ocean and the atmosphere during the

- 1960's. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 173 — 192.
- [6] Pitcher, E. J., M. L. Blackman, G. T. Bates, and S. Munoz, 1988. The effects of the North Pacific sea surface temperature anomalies on the January climate of a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 173 — 188.
- [7] 陈烈庭, 詹志强, 1984. 北太平洋东部气压距平的遥相关, 科学通报, **29**, 第 8 期, 481 — 483.
- [8] 陈烈庭, 严邦良, 1989. 北太平洋海面气压的 EOF 分析与北方涛动, 大气科学, **13**, 第 1 期, 38 — 43.
- [9] 金祖辉, 陈烈庭, 北方涛动和南方涛动与太平洋海温关系的对比分析(待发表).
- [10] 陈烈庭, 1984. 北方涛动与赤道太平洋海温和降水, 科学通报, **29**, 第 19 期, 1190 — 1192.
- [11] Namias, J., 1978. Multiple causes of the North American abnormal winter 1976 — 1977. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 279 — 295.
- [12] Harnack, R. P., and A. J. Broccoli, 1979. Associations between sea surface temperature gradient and overlying mid-tropospheric circulation in the north Pacific region. *J. Phys. Oceanogr.*, **9**, 1232 — 1242.
- [13] Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784 — 812.
- [14] Walker, G. T. and E. W. Bliss, 1932. World Weather V. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, **4**, 53 — 84.
- [15] Wright, P. B., 1983. Sea surface temperature fluctuations in the Pacific. 0° — 50° N. *Tropical Ocean Atmos. Newslett.*, No. 19, 14 — 15.
- [16] Bjerknes, J., 1969. Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163 — 172.
- [17] 陈烈庭, 1982. 北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用, 大气科学, **6**, 第 2 期, 148 — 155.

TELECONNECTIONS BETWEEN THE NORTHERN OSCILLATION AND EXTRATROPICAL ATMOSPHERIC CIRCULATION OF THE NORTHERN HEMISPHERE, PART I : BASIC STRUCTURES

Chen Lieting and Wu Renguang

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Basic structures of teleconnections between the Northern Oscillation, its associated North Pacific sea surface temperature (SST) and sea level pressure and 500 hPa geopotential height fields of the Northern Hemisphere are investigated by using seasonal-mean data spanning years 1951 — 1980 (120 seasons in all). The results are compared with those of the Southern Oscillation and the eastern equatorial Pacific SST. It is found that the SST anomalies in the Namias and California current regions of the North Pacific are closely associated with anomalies over the mid- and high-latitudes of the Northern Hemisphere, especially the Pacific/North America (PNA) and the North Atlantic Oscillation (NAO) anomaly patterns are highly related to the Northern Oscillation and SST anomalies in the

above two regions. The Southern Oscillation and the equatorial Pacific SST anomaly are highly related to the North Pacific Oscillation (NPO) or the Western Pacific (WP) anomaly pattern, but their relations to PNA and NAO anomaly patterns are weaker in comparison with the Northern Oscillation and SST anomalies of the Namias and California current regions.

Key words: Northern Oscillation; Sea surface temperature; Height fields; Teleconnection patterns.