

北太平洋副热带高压与赤道 东部海温的相互作用

陈烈庭

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文根据 1957—1976 年太平洋的月平均海平面气压和海温资料,分析了赤道东部海温与北太平洋海平面气压场的时滞相关。发现赤道海温的变化,就北太平洋而言,主要是受该洋东南部低层副热带反气旋的控制,而赤道海温对副热带高压的反馈,主要是发生在太平洋中部对流层副热带高压中心附近地区。赤道海温向副热带反气旋调整的时间平均为二个月左右,而副热带高压向赤道海温调整的时间平均为四个月左右。前者比后者更快。它们之间相互影响、相互调整形成了一种闭合的负反馈过程。整个过程约历时 22 个月左右,大致相当于北太平洋副热带高压和赤道海温共有的 3.5 年振荡周期一半的时间。

一、引 言

自从六十年代初 Bjerknes^[1-3] 研究热带地区的海气相互作用,发现东太平洋赤道地区的海温(以下简称赤道海温)不仅具有明显的局地效应,而且可以影响到中纬度的大气环流以来,国内外气象学界从天气、动力、数值实验各个方面,对这个问题进行了大量的分析和讨论。使人们对该区海气相互作用的特征增加了不少新的认识,对其相互作用的机制也有更深的理解。进一步证明了热带海洋对大气环流和长期天气变化的重要性。其中,赤道海温与南北太平洋副热带高压(以下简称副高)之间的关系是研究较多的一个课题^[3-4]。对我国来说,也是最有实际意义的问题。本文主要是讨论北太平洋副高与赤道海温的相互作用。

最早 Bjerknes^[1] 注意到赤道太平洋 1957—58 年冬季的海温特别高,而 1955—56 年冬季的海温特别低。他通过对这两个典型年冬季北太平洋大气环流的分析指出,赤道海温高时,副高的轴线稍向南移,从亚洲到美洲呈东西向分布,强度偏强。同时阿拉斯加低压也加深,中纬度西风增强。赤道海温低时,情况相反。和田英夫^[5]对 Bjerknes 的这一结果进行了检验,证明上述的一些看法是对的。然而他指出,赤道海温高时,副高的轴线不是偏南而是偏北。中国科学院地理研究所长期预报组^[6]用多年资料,分析了赤道海温对北太平洋副高长期演变的影响,也指出它们之间有明显的正相关,且发现北太平洋副高对

1980年5月13日收到,8月6日收到修改稿。

赤道海温的响应有 1—2 季度的时间滞后。

关于夏季北太平洋副高的活动与赤道海温的联系,作者^[7]的分析指出,春季赤道海温特别高和特别低的年份,初夏副高的活动有明显的差异,并且与冬季的联系事实也不尽相同,在东太平洋夏季的 Hadley 环流区,同冬季的情况一样,赤道海温高时副高主体强,反之副高主体弱。而对于西太平洋夏季的季风环流区,情况则相反,赤道海温高时西太平洋高压脊弱,反之西太平洋高压脊强。

因此,大气运动对海温的响应,不仅具有明显的滞后效应,而且还具有明显的地区性和季节性。另一方面,不少研究表明^[8-11],海温变化也受大气运动的控制。究竟北太平洋副高与赤道海温之间是怎样一种关系呢?它们之间相互影响、相互反馈、相互调整的过程如何呢?这些是本文要讨论的主要内容。

二、资料和方法

一般认为,海气相互作用的过程,海洋对大气的影晌,主要是通过向大气输送潜热、感热、长波辐射等对大气加热(热力相互作用),影响大气的运动。而大气对海洋的影响,主要是通过风的切应力(力学的相互作用),使海水产生风吹流和上翻,使海温分布发生变化。因此,海气之间这些能量和质量的交换,主要是发生在海洋和大气交界的边界层中,它与边界层的物理特性,特别是风的特征有密切关系。由于边界层中风场的分布,与海平面气压场的分布关系密切,所以本文中作为大气方面的状况,特别取海平面气压资料作为我们研究的对象。另外,我们取 5°N — 5°S , 80° — 180°W 范围内各网格点海温的平均,代表东太平洋赤道地区海温的状况,探讨该区海温与北太平洋副高的相互作用。

月平均海平面气压资料,我们取自上海气象台长期预报组。网格点读数的纬距为 5° , 经距为 10° 。月平均海温资料取自美国 National Marine Fishing Service 发表的图集,以每隔 5 个经纬度的网距读数。根据 1957—1976 年共 240 个月的资料,计算出赤道地区的平均海温与北太平洋每 10 个经纬度网格点上的海平面气压之间的同时及落后(从海平面气压超前赤道海温 12 个月直到落后 12 个月)相关。为了去掉季节变化的影响,上述计算一律采用资料的距平值。同时,为尽可能去掉一些短周期变化的影响,对资料进行了 6 个月的平滑处理。

三、分析结果

通过相关普查表明,赤道地区的海温与北太平洋海平面气压长期演变之间,有三个关系极密切的区域。并对于不同区有不同的时滞现象。图 1 表示的是这三个时滞相关最大的区域的分布。一个在北太平洋东南部副热带反气旋所在地区(以下简称 A 区——超前赤道海温二个月),一个在北太平洋中部,大致与对流层中层副高中心的位置对应(以下简称 B 区——落后赤道海温四个月),另一个在阿留申低压地区(以下简称 C 区——落后赤道海温二个月)。A 区和 C 区为负相关, B 区为正相关。每个区域内各网格点的时滞相关系数都在 0.40 以上,远远超过 0.001 的信度要求。下面我们主要讨论 A 和 B 区的情况。

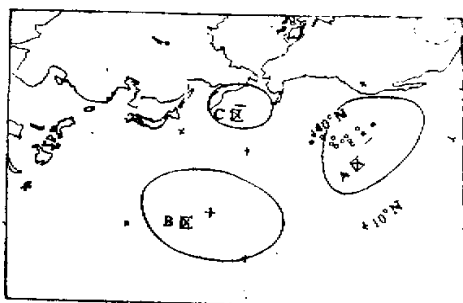


图1 东太平洋赤道地区 (5°N — 5°S , 80° — 180°W) 海温与北太平洋海平面气压之间的高相关区 (圆圈为各月副热带反气旋中心多年平均位置)

1. 北太平洋副热带反气旋对赤道海温的影响

图2是1957—1976年A区内16个网格点平均的海平面气压距平和赤道地区海温距平的多年变化曲线。可以看出,它们的变化具有明显相反的趋势。1957—58年,1963年,1965年,1968—69年,1972年和1976年,是赤道海温明显偏高的年份。其中1957—58年,1965年,1972年和1976年还出现了强烈的“爱奥尼诺”现象。这些年A区的海平面气压都明显偏低。而赤道海温明显偏低的1962年,1964年,1967—68年初,1970—71年和1973—75年,A区的海平面气压,除1967—68年一例外,都明显偏高。而且A区海平面气压正(负)距平维持时间越长,赤道海温负(正)距平维持时间也越长。例如,1961年以前A区的海平面气压基本上为负距平,在这期间赤道海温也基本上都为正距平。1973—75年三年A区的海平面气压为正距平,此时赤道海温均为负距平。

另外,如果仔细观察,还可以看出,A区海平面气压的变化还有先于赤道海温变化的趋势。根据这两个时间序列 ($N = 240$) 同时及落后相关的计算结果(图略),在A区气压

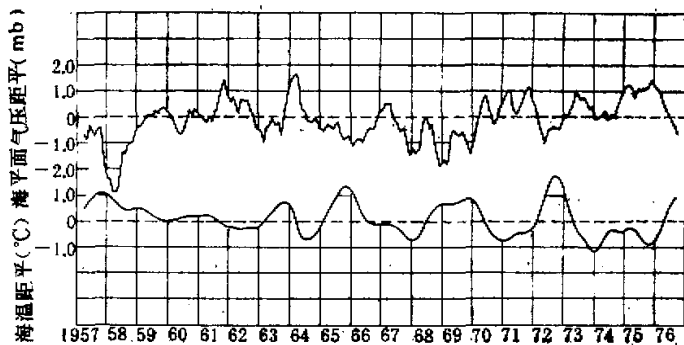


图2 A区海平面气压距平和赤道地区海温距平的多年变化曲线 (6个月滑动平均)

超前赤道海温 2 个月左右的地方, 相关系数最大, $R = -0.57$, 远远超过 0.001 的信度要求。

上述结果表明, 北太平洋副热带反气旋和赤道海温的多年变化是有内在联系的。赤道海温的变化, 除受南太平洋副热带反气旋的控制外^[9,10], 在相当程度上也受北太平洋副热带反气旋的控制。当它在 A 区开始加强(减弱)时, 大约两个月后赤道海温开始变冷(增暖)。

赤道海温正距平和负距平最大月之前第二或第三个月北太平洋海平面气压距平平均的分布基本是相反的(图略)。最大的差异在北太平洋北部和东部广大地区。在海温正距平最大月之前, 这里是极明显的负距平区(反气旋强度弱), 负距平最大月之前是极明显的正距平区(反气旋强度强)。而赤道附近与此相反, 海温正(负)距平最大月之前, 气压距平不明显或为弱的正(负)距平。显然, 异常的气压分布定将产生异常的气流强度和方向。

图 3 是马朱罗岛 ($7^{\circ}05'N$, $171^{\circ}23'E$) 850 mb 东西风分量距平和赤道海温距平的变化曲线。可以看出, 赤道海温偏冷的时期基本上是赤道东风偏强的时期, 而赤道海温偏暖的时期基本上是赤道东风偏弱的时期。这两条曲线的落后相关, 在东西风分量超前海温 3 个月的地方最大(图略), 相关系数高达 0.71。因此, 赤道东风与这里海温的关系是非常密切的。海温的变化比东风的变化约落后 3 个月时间。这与上述分析结果是一致的。

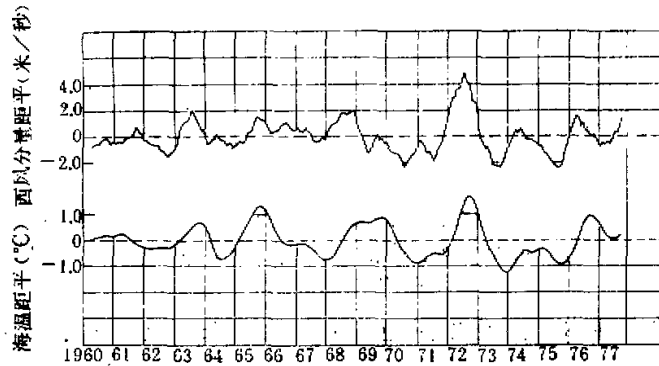


图 3 马朱罗岛 850 mb 东西风分量距平和赤道海温距平的变化曲线
(6 个月滑动平均)

从以上分析可以得到结论, 北太平洋副热带反气旋的异常对赤道海温的影响是显著的, 看来它主要是通过信风起作用。即当副热带反气旋加强时, 赤道东风也增强, 它一方面使赤道东部的海水加速向西输送, 并引起加利福尼亚冷洋流和秘鲁冷洋流的海水加速向赤道东部补充, 另一方面也导致赤道海洋低层的冷水上翻, 使赤道地区的海温降低。而当北太平洋副热带反气旋减弱时, 赤道东风减弱, 上述现象也减弱或中断, 赤道地区的海温升高。

2 赤道海温的反馈

现在我们转到赤道海温对北太平洋副高和阿留申低压反馈的讨论。

图4是赤道海温距平和B、C两区的海平面气压距平的多年变化曲线。B区(C区)的曲线是该区内19个(11个)网格点的平均值。从赤道海温与B区海平面气压的关系,可以看出,它们变化的趋势是非常一致的,不仅所有大的波动有很好的对应关系,而且一些较小的变化似乎也有所反映。再一个现象是B区气压距平的变化,相对于赤道海温距平,有明显的时间滞后。根据这两个时间序列($N = 240$)的同时及落后相关的计算(图略),在B区气压落后赤道海温4个月左右的地方,相关系数最大, $R = 0.66$,远远超过0.001的信度要求。即赤道海温开始上升(下降),平均约4个月,后B区的海平面气压也开始升高(下降)。此结果与文献[6]的结论一致。然而,我们指出,太平洋副热带反气旋与赤道海温的相互作用各有其最敏感的区域。对于赤道海温主要是受A区气压,即反气旋中心强度的控制。而副热带反气旋对赤道海温的响应,主要是发生在B区,即对流层中层副热带高压中心附近地区。这不会是偶然的巧合,可能反映了赤道海温对副热带高压反馈的物理过程和条件。当然这还有待进一步研究。

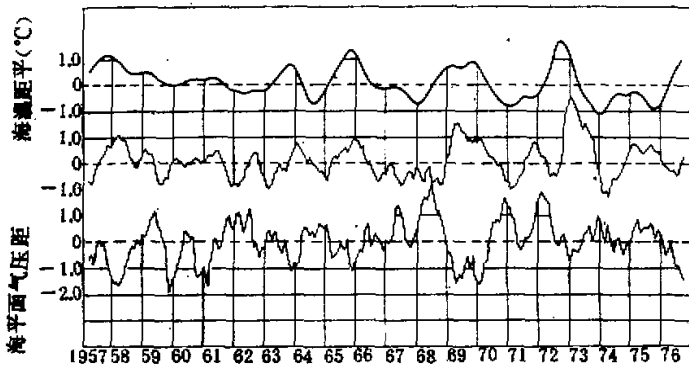


图4 东太平洋赤道地区海温距平和B区(中)、C区(下)海平面气压距平的多年变化曲线(6个月滑动平均)

C区的情况见图4,它的变化与赤道海温的变化呈明显相反的趋势。响应时间约为两个月左右。

3. 时滞相关场的逐月变化

前面指出,北太平洋东南部A区海平面气压的异常,对赤道海温的变化有明显影响。同时赤道海温的异常,对北太平洋中部B区的海平面气压有明显的反馈作用。实际上,A和B这两个相关区,它们的位置、范围和相关程度,对于不同时滞是在变化的。现在我们进一步分析它们的连续变化。

以月为时间单位,从海平面气压距平超前赤道海温距平12个月一直到落后12个月,共有25张时滞相关图。为节省篇幅起见,只给出其中8张相关图(见图5)。左边4张自上而下分别是北太平洋各网格点的气压距平超前赤道海温11、9、5、2个月的相关情况。右边4张自上而下分别是同时相关和落后4、6、9个月的相关情况。图中粗线为相关零线,实线为正相关系数等值线,虚线为负相关系数等值线。相关中心的数值是取该区内三

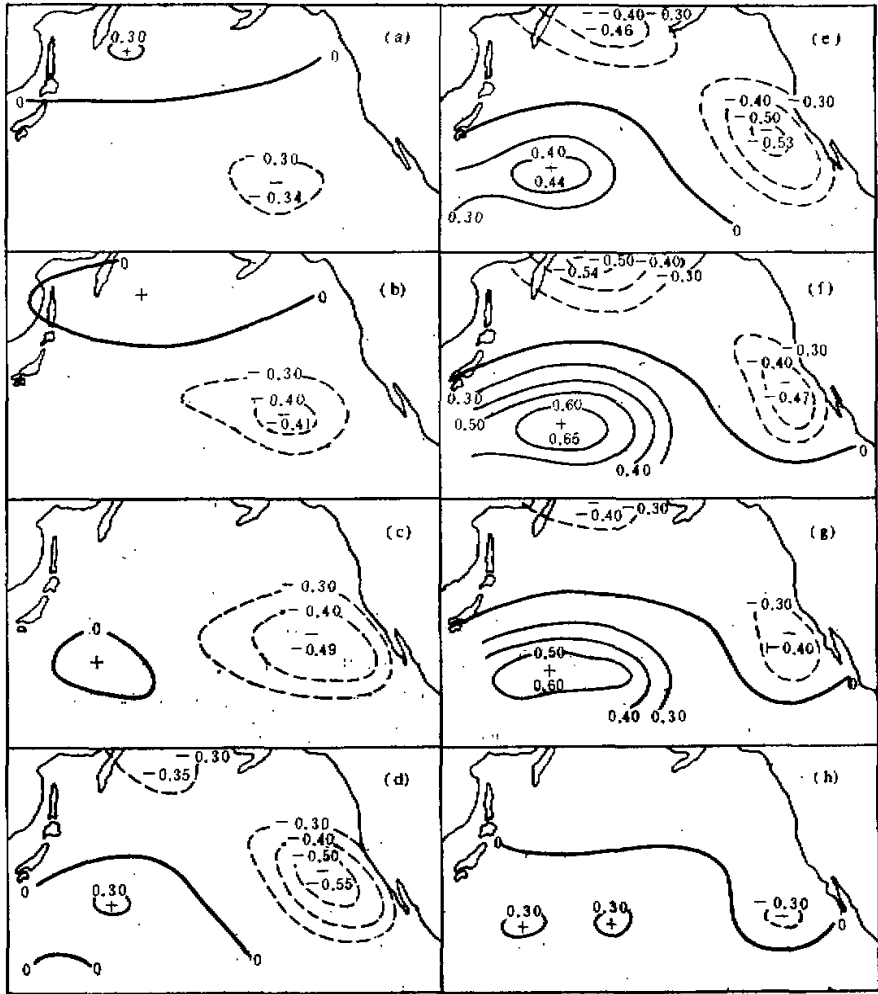


图 5 北太平洋海平面气压距平与赤道地区海温距平之间时滞相关场的演变

点最大的相关系数的平均。可以看出,各相关区的位置、范围和相关程度的演变是很有规律的。开始在超前第 11、12 个月,北太平洋 40°N 以南均为负相关。其中达到 0.001 信度的区域只有一个,大致位于 $15^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{--}160^{\circ}\text{W}$ 附近。但其范围还比较小,中心相关系数也还不是很大 ($R = -0.34$)。以后,随着时间推移,这个负相关区范围越来越大,特别是向东和向西大大扩展,位置也稍向北移。中心的相关系数,在超前第 9 个月为 -0.41 ,第 5 个月达到 -0.49 。到第 2、3 个月则出现最大值, $R = -0.55$ 。值得注意的是,此时相关场的形势发生显著变化,在北太平洋中部出现了大片正相关,而阿留申低压地区出现负相关。不过还都只是个别点的相关系数达到 0.001 的信度。此外,有意思的

现象是,此时虽然东部负相关区的相关程度达到最大,但由于中部正相关区的出现和扩大,它的位置和范围反而有些东移和缩小。此后,北太平洋中部的正相关区和阿留申地区的负相关区继续发展,范围越来越大,中心的相关系数越来越高。但其位置始终不太变化。而东部的负相关区则趋于减弱。在落后第2个月,中部正相关区中心的相关系数达到0.59。阿留申地区的负相关达最大, $R = -0.56$ 。到第4个月,中部正相关区的范围和强度达最大, $R = 0.65$ 。而阿留申地区的负相关区也开始减弱。到第6个月,所有三个相关区都在减弱。而到第9个月,则整个北太平洋只有几个点的相关系数达到0.001信度的要求。

根据以上时滞相关场逐月变化分析的事实,我们初步可以得到一个关于北太平洋副热带高压与赤道海温之间相互作用过程可能的图象。即如果北太平洋副热带反气旋在A区附近异常发展时,赤道东风分量加大,冷水平流和上翻也增强,赤道冷水带发展。这样,在哈特莱环流上升区海洋对大气的加热量就减少,哈特莱环流减弱,北太平洋副热带高压主体的强度也减弱,B区的海平面气压下降。与此同时,随着B区气压越来越低,其影响东传,使东部A区气压也开始下降。另外,由于C区气压偏高,因此副高北侧西风带的气压梯度减小,西风减弱。据 Reiter 提出的机制^[1],它反过来使赤道信风减小,冷水平流和上翻减弱,赤道海温升高。这样,哈特莱环流上升区海洋对大气的加热量就增多,哈特莱环流加强,北太平洋副热带高压加强,B区的海平面气压升高。它们如此相互影响、相互反馈、相互调整,形成了一种闭合的相互制约的负反馈过程。这个过程从开始到结束大约经历了22个月时间,约相当于北太平洋副热带高压和赤道海温共有的3.5年振荡周期的一半时间^[5]。另外,整个过程中,赤道海温向A区海平面气压调整的时间比较快,平均为2个月左右,而B区的海平面气压向赤道海温调整的时间比较慢,平均为4个月左右,共约6个月时间。

四、总结和讨论

根据以上分析的一些事实,我们可以得到以下几点初步看法:

1. 东太平洋赤道地区是南北赤道洋流所在地区,秘鲁冷洋流和它们绕着南太平洋副热带反气旋的东部和北部流动。因此,一般认为,该区海温的变化是受南太平洋副热带反气旋控制的。本文分析结果表明,北太平洋副热带反气旋对赤道海温也具有同等重要的作用。

2. 海气相互作用各有其最敏感的区域。对于赤道海温,就北太平洋而言,主要是受A区副热带反气旋的控制,而赤道海温对副热带高压的反馈,主要是发生在B区,即对流层中层的副热带高压中心附近地区。这是可以理解的,因为A区反气旋与赤道东风关系最密切,而B区正好是哈特莱环流的最大下沉区。

3. 北太平洋副热带反气旋与赤道海温之间,始终是处于相互影响、相互反馈、相互调整的过程之中。反气旋的异常,可以引起赤道海温的异常。与此同时,赤道海温的异常反过来又可以影响反气旋的变化,互为因果。但是,在过程的不同阶段,也不是没有其矛盾的主要方面。从我们的分析来看,开始时,如果由于某种原因,A区反气旋发生异常,则赤

道海温主要受A区反气旋的影响,存在着赤道海温向反气旋调整的阶段,反气旋是矛盾的主要方面。而随着过程的发展,矛盾向相反方向转化,赤道海温渐渐起支配作用。到后来,赤道海温成了矛盾的主要方面,出现了主要是B区气压向赤道海温调整的阶段。

关于调整的时间,据我们的分析,赤道海温向A区气压的调整平均约2个月,而B区气压向赤道海温的调整平均约4个月。前者比后者快。Namias^[12]曾指出,海温同下一个季节的海平面气压具有明显的相关,但海平面气压与下一季节的海温的相关比与同时的海温的相关要小。这就可能与上述调整时间不同有关系。

4. 最后,我们提出一个关于北太平洋副热带高压与赤道海温相互作用可能的过程:北太平洋东南部A区反气旋加强(减弱)→赤道东风分量增大(减小)→赤道东部海温下降(上升)→哈特莱环流减弱(加强)→北太平洋中部副热带高压减弱(加强),B区气压下降(上升),其势力向东扩展→A区反气旋减弱(加强)。它们如此相互影响,相互反馈,相互调整,形成一种闭合的相互制约的负反馈过程。整个过程约历时22个月左右,大致相当于北太平洋副热带高压和赤道海温共有的3.5年振荡周期一半的时间。

致谢: 在作本文过程中,李麦村和袁重光同志作过有益讨论和帮助。叶笃正、陶诗言和杨奎初同志审阅了本文原稿,并提了宝贵意见。谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] Bjerknes, J. *Tellus*, 18(4), 1966.
- [2] ———, *Mon. Wea. Rev.*, 97(3), 1969.
- [3] Ramage, C. S. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56(2), 1975.
- [4] Wyrtki, K. *J. Phys. Oceanogr.*, 5, 1975.
- [5] 和田英夫, 海の気象, 20(3).
- [6] 中国科学院地理研究所长期天气预报组, 科学通报, 5, 1977.
- [7] 陈烈庭, 大气科学, 1(1), 1977.
- [8] 林学椿, 中国科学院大气物理研究所集刊, 第6号, 科学出版社.
- [9] Quinn, W. H. *J. Appl. Meteor.*, 13, 1974.
- [10] 陈烈庭、梁凤娥, 南方涛动与我国降水, (尚未发表).
- [11] Reiter, E. R. *Mon. Wea. Rev.*, 106(3), 1978.
- [12] Namias, J. *Mon. Wea. Rev.*, 97(3), 1969.

INTERACTION BETWEEN THE SUBTROPICAL HIGH OVER THE NORTH PACIFIC AND THE SEA SURFACE TEMPERATURE OF THE EASTERN EQUATORIAL PACIFIC

Chen Lie-ting

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Based on the monthly mean data of the sea level pressure and the sea surface temperature over the Pacific during the years of 1957—1976, we have calculated the lag correlation between the SST averaged over the eastern equatorial Pacific region (5°N — 5°S , 80° — 180°W) and the sea level pressure field of the North Pacific. It is found that the variation of the SST over the eastern equatorial Pacific, when considering the northern hemisphere, is mainly governed by the surface subtropical anticyclone over the SE part of the North Pacific, while the feedback of the SST on the subtropical high over the North Pacific occurs mainly in the vicinity of the central region of the North Pacific. The time of adjustment of the SST to the anticyclone anomalies is about 2—3 months, while that of the subtropical high over the North Pacific to the SST is about 4 months. The latter is slower than the former. They influence and adjust to each other thus form a closed negative feedback process. The whole process lasts for about 22 months, which is equivalent to a half of the common period of the subtropical high and the equatorial SST.