

## 黑潮海域与赤道东太平洋海面温度 低频振荡之间的关系\*

于慎余 周发秀  
(青岛海洋大学)

**提要** 本文对黑潮海域和赤道东太平洋 1954—1983 年月平均海面温度距平, 分别施以经验正交函数分解, 并采用数字滤波、相关分析和合成研究等方法进行了分析。结果发现, 这两个海域存在不同频段的低频振荡, 其中在准两年周期里, 黑潮流域对赤道东太平洋水温振荡存在明显的响应, 并具有约 6 个月的位相落后; 而在周期大于 28 个月的振荡中, 这种响应很弱且仅限于 20°N 以南。

海流区是海洋中最活跃的区域, 在任何相关分析中, 海流区往往是统计学上的高相关区<sup>[2,3,5,6]</sup>。在海洋与大气的能量交换中, 暖海流区是举足轻重的。黑潮流域是西北太平洋重要的暖流区, 对东亚的天气气候有着很大的影响。

黑潮在菲律宾的东北方由北赤道流转变而成, 它的主轴流经西北太平洋的中纬度边缘海域, 在大约 35°N 以北与亲潮寒流相遇并折向东。西北太平洋的中纬度地区是全球最典型的季风区, 因而黑潮流域海面温度(以下称水温)的变化, 不可避免地受季风影响, 存在周期大于 20 个月的低频振动<sup>[1]</sup>。有人发现这里的水温振动存在 5—6 年的显著周期<sup>[4,9]</sup>, 并且海洋向大气传输的总热量, 也存在类似的低频振荡<sup>[10]</sup>。黑潮流域水温一方面具有季风的振动性质, 另一方面黑潮也通过北赤道流与赤道太平洋的高温区联系在一起, 把暖水源源不断地向中纬度输送, 因而其水温变化也带有赤道东太平洋水温变化的某些特征。实际上, 黑潮的平流作用在其水温变化中是不可忽视的。虽然在一年中, 黑潮流域的热量都是向大气输送的<sup>[10]</sup>, 但同时又因其水平流动而得到补偿, 这种补偿作用在冬季比与其相邻的黄海大 10 倍<sup>[7]</sup>。由此可见平流作用在黑潮流域水温的变化中的重要意义, 因此弄清这一作用是十分必要的。

黑潮流域与太平洋其它流区水温之间在总体上并无显著相关, 但在不同频域上却存在较好的相关<sup>[6]</sup>, 这反映了黑潮流域水温变化的独特性。黑潮流域水温在一个频谱很宽的频域里(周期为 21—84 个月)与赤道东太平洋水温有很好的相关<sup>[5]</sup>, 这一频域包括了赤道东太平洋与 El Niño 有关的 3—5 年周期和准两年周期的振动<sup>9</sup>。但是, 对于赤道东太平洋不同频段的水温振动, 黑潮流域的响应是否相同的问题, 很值得进一步研究。本文将讨论这一问题。

\* 本文由张增辉同志绘图, 谨此致谢

收稿日期: 1988年1月8日。

1) 周发秀、于慎余, 1988。赤道东太平洋水温低频振荡与 El Niño 形成。海洋学报, 待刊。

## 一、基本分析

本文采用中国科学院地理研究所和上海气象台等单位出版的太平洋 1954—1983 年月平均水温资料,选取其中黑潮流域 20 点 ( $5^\circ \times 5^\circ$  经纬度)。这些网格点位于西北太平洋边缘海域  $20^\circ\text{N}$ — $40^\circ\text{N}$  和  $125^\circ\text{E}$ — $155^\circ\text{E}$  范围内的一个多边形区域,这一区域虽不是黑潮流域的全部,但包括了黑潮主轴的中纬度流域,并且还包括了亲潮最南侧与黑潮交汇区的几个点,这就是我们要讨论的黑潮流域的位置(图 1)。同时选取在赤道太平洋日界线以东 ( $10^\circ\text{S}$ — $20^\circ\text{N}$ ,  $180^\circ$ — $90^\circ\text{W}$ ) 一个基本上是长方形的区域(以下称该区为赤道东太平洋),考虑到所研究的水温低频振动的尺度很大,这一区域取  $10^\circ \times 10^\circ$  经纬度共 38 个资料点(图 1)。

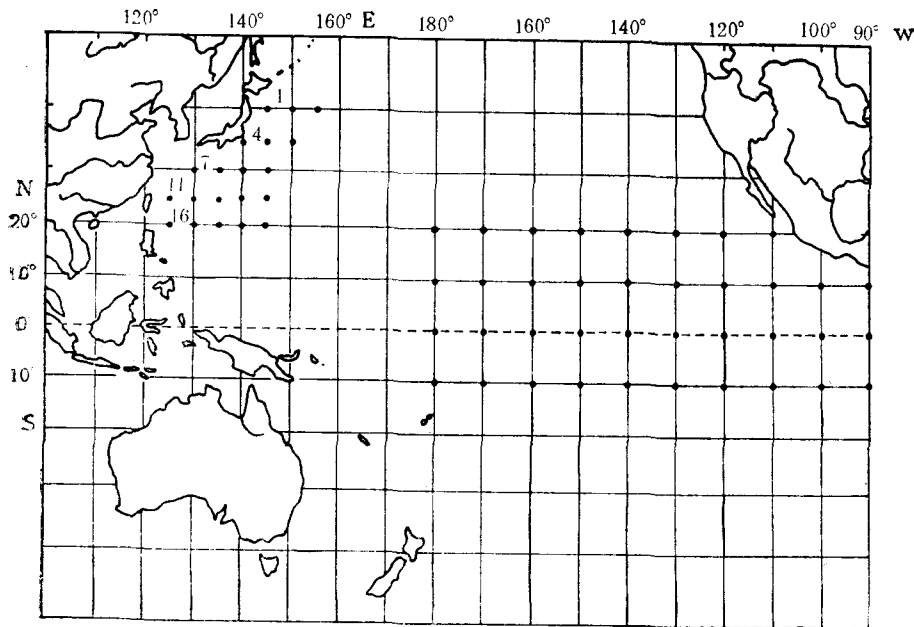


图 1 黑潮流域和赤道东太平洋水温资料网格点位置

Fig. 1 The grid points of the sampled data in the Kuroshio and in the equatorial eastern Pacific (EEP)

对于上述每一网格点的水温资料求出其距平值,以消除季节变化,把距平值的振动视为对于气候平均状态的异常。

为了分别获取黑潮流域和赤道东太平洋海域水温异常的主要成分,我们把这两个区域的水温异常看作是各自独立的系统,分别施以经验正交函数(EOF)分析,然后研究各主要模态(mode)的时空特征,以及这两个区域在不同模态之间的耦合关系。为节省篇幅计算公式从略。

对这两个区域进行 EOF 分解,它们前三个主要模态的方差贡献列于表 1。黑潮流域第一模态的方差贡献为 40.6%,是该区域的主导模态,其特征向量分布的最大值与黑潮流轴相一致(图 2a),尤其与海面热总量收支差额的负值区相吻合,并且与大洋上暖流区

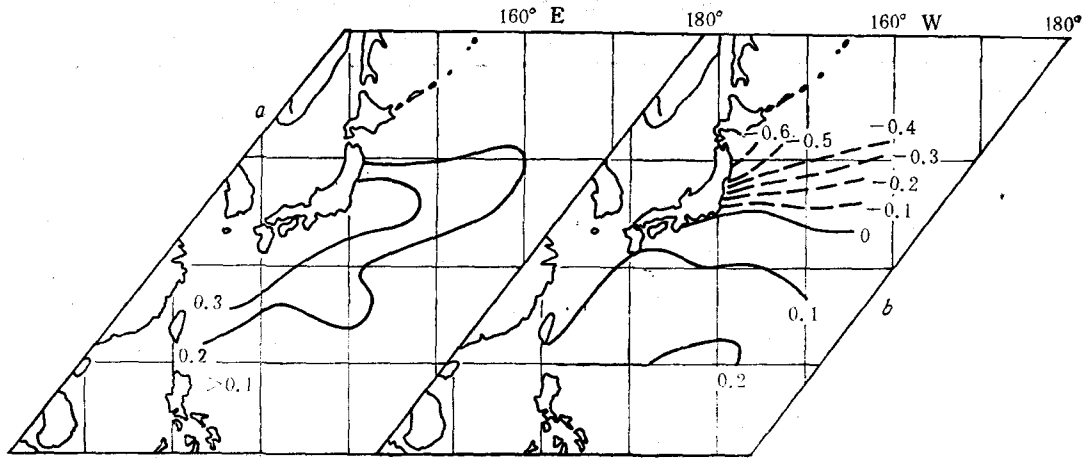


图2 黑潮流域水温的特征向量

Fig. 2 The eigenvectors of SSTA in the Kuroshio

a. 第一模态; b. 第二模态。

的水-气温差的分布相协调。该模态被认为是反映了在东亚季风影响下黑潮流域海面温度所作出的响应<sup>[1]</sup>。第二模态的方差贡献为 17.6%，其特征向量的分布(图 2b)，以 35°N 附近为零值线，南正北负；而零线呈东西走向，其位置相当于黑潮与亲潮的交界。

在东西向海洋锋的南北两侧，海温距平符号往往相反，考虑到海洋向大气的总热量输送对于纬向平均的偏差的分布形势<sup>[10]</sup>，以黑潮与亲潮交界分正负，则出现类似于该特征向量的分布。因而，我们有理由把第二模态看做是与黑潮和亲潮相对强度变化有关的模态。换言之，第二模态反映了黑潮平流输送对于计算区域水温变化的贡献。

赤道东太平洋第一模态的方差贡献是 35.9%，与其它模态相比，第一模态的贡献是起决定性作用的，其特征向量的分布(图 3)，表征赤道东太平洋异常增温处于 El Niño 的成熟阶段的形势，因而可把这一模态看做与 El Niño 相关的一个特征场。<sup>1)</sup>

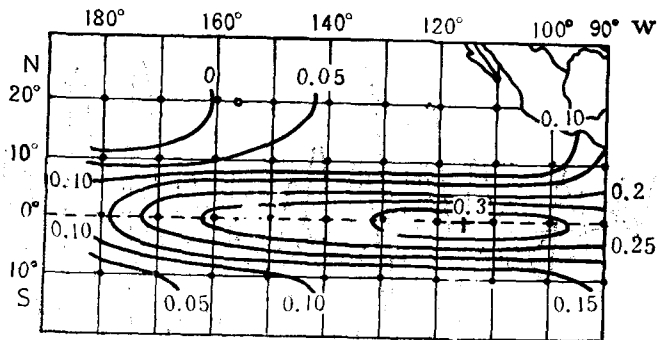


图3 赤道东太平洋水温第一模态特征向量

Fig. 3 The first eigenvector of SSTA in EEP

对各模态进行功率谱分析的结果(表 1)表明，黑潮流域第一模态的功率谱主要峰值表现为一系列周期大于 20 个月的低频振动，其中以一种周期大于 120 个月的振荡占主导

1)见第 485 页脚注 1)。

表 1 黑潮流域与赤道东太平洋 EOF 分解的比较

Tab. 1 The comparison of EOF modes in the Kuroshio and in EEP

区 域	黑 潮 流 域			赤道东太平洋		
	1	2	3	1	2	3
模 态						
方差贡献 (%)	40.6	17.6	7.2	35.9	8.8	5.7
功率谱的显著周期(月)	>120	72		45	90	
	30	24		24		

地位,此外还存在周期为 30 个月的振动。第二模态的功率谱则明显地存在 6 年周期和准两年周期。

赤道东太平洋第一模态具有 3—5 年周期的振动,其峰值周期为 45 个月,其次是 24 个月的准两年周期。而其第二模态由于其方差贡献很小,这里不作讨论。

比较黑潮流域第二模态和赤道东太平洋的第一模态的谱结构,两者有许多相似之处,尤其都存在以 24 个月为峰值的准两年周期的振动。

## 二、准两年周期振动

黑潮流域第二模态与赤道东太平洋第一模态频谱结构的相似性显示出两者之间的某种联系,可以设想,这反映了黑潮暖流以北赤道流为纽带与赤道东太平洋水温起伏的一种联系。两个区域准两年振荡尤其一致。因此,我们将着力分析在准两年周期振荡下,黑潮流域对于赤道东太平洋水温异常的响应。为此,我们采用了时间序列比较,时滞相关和同位相合成等研究方法。

### 1. 时间序列比较

与 485 页注 1) 相同,我们对时间序列采用 Butterworth 四极点递归滤波器。该滤波器的频率响应函数在截断角频 ( $\omega_c$ ) 处  $|R(i\omega_c)| = 0.5$ , 可以有效地分离不同频段的振动,而

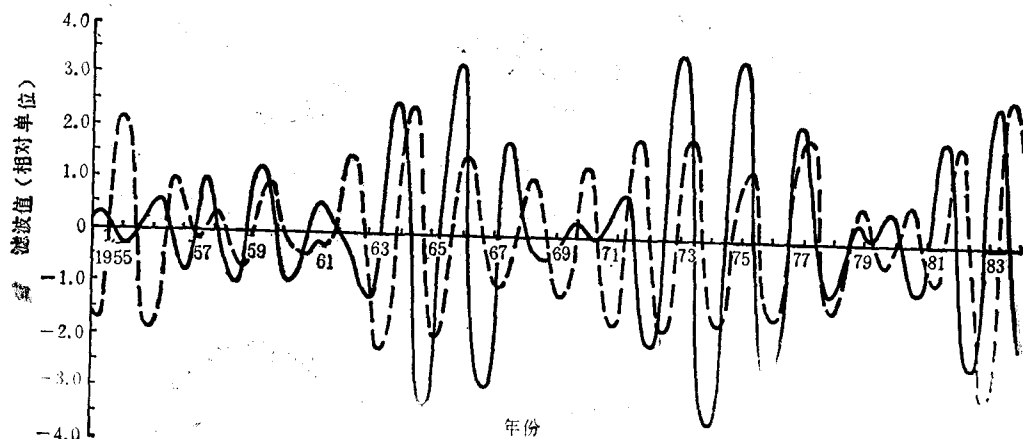


图 4 黑潮流域第二模态(断线)与赤道东太平洋第一模态(实线)准两年周期的时间序列

Fig. 4 The time series of the quasi-biennial oscillation (QBO) of mode 2 (dashed line) in the Kuroshio and that of mode 1 (solid line) in EEP

保持峰值的振幅不被削弱。

对于准两年周期的振荡,采用带通滤波。根据功率谱的分布特征,取带通滤波的截断频率为  $F_1 = \frac{1}{20} \text{月}^{-1}$ ,  $F_2 = \frac{1}{28} \text{月}^{-1}$ , 对黑潮流域第二模态和赤道东太平洋第一模态的时间系数进行滤波,并比较这两个模态的时间序列(图 4)。

很显然,两个时间序列的振动特征是:黑潮比赤道东太平洋落后 6—7 个月,即在时间轴上将黑潮第二模态的这一带通序列向前平移 6—7 个月,则图 4 所示的两个序列便几乎是同步振荡的。这一关系说明,在准两年周期振荡中,赤道东太平洋水温处于极端增温状态,经 6—7 个月,黑潮流域在第二模态意义下,将处于最大增温阶段;而在赤道东太平洋异常增温阶段的同时,黑潮流域水温却处于低值阶段。从 1954 年以来,6 次 El Niño 事件(如 1957, 1963, 1965, 1972, 1976, 1982 年)中,当赤道东太平洋 El Niño 成熟阶段,在准两年周期振动频域里,同期黑潮流域水温振动都处于谷值阶段(图 4)。当然,并不是每一次出现谷值都意味着 El Niño 事件,这要看赤道东太平洋 El Niño 形成的条件是否成熟。

## 2. 相关分析

赤道东太平洋水温准两年周期的振动具有自西向东传播的趋势<sup>1)</sup>。为了进一步揭示黑潮流域对这种强烈的水温振动的响应特征,使用了传统的时滞相关分析方法。我们选择赤道东太平洋第一模态随时间的振动作为参考,并选取黑潮流域 5 个点,其中 1 点(40°N, 145°E)已处于亲潮的南侧,而 4 点(35°N, 140°E)、7 点(30°N, 130°E)、11 点(25°N, 125°E)和 16 点(20°N, 125°E),都处于黑潮流轴附近,把它们作为黑潮流轴的代表点,在上述带通意义下,与赤道东太平洋第一模态作时滞相关分析。

相关系数的时空分布(图 5)表明,黑潮流域水温振动落后 5—6 个月与赤道东太平洋水温呈最佳正相关,相关系数达 0.55;而超前 5—6 个月呈最佳负相关,相关系数达 -0.62。这一结果与两时间序列的关系相似,而且正负相关系数转换需 11—12 个月,正是准两年周期的一半。此外还可以看到,相关系数等值线随着时滞增加自南向北倾斜,这表明信息自南向北传输,显示出准两年周期振动的传播特征。值得注意的是,相关系数等值线在 4 点达到最大,而最北的 1 点相关系数很小,这体现了在亲潮水域,水温的准两年

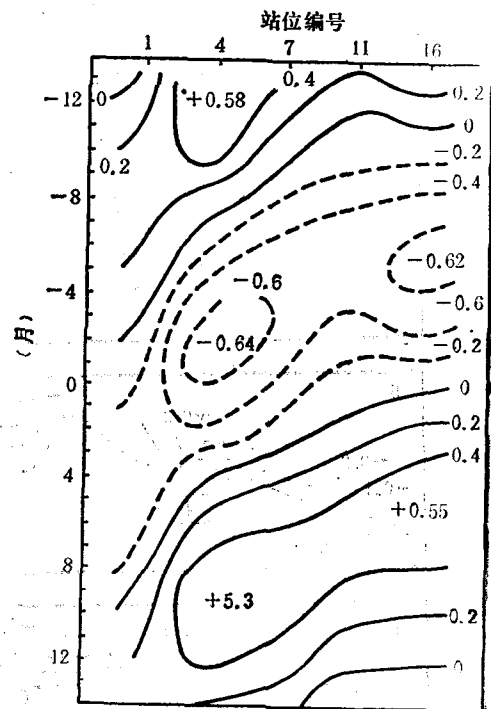


图 5 黑潮流轴 5 点和赤道东太平洋第一模态在准两年周期频段的时滞相关  
Fig. 5 The lag correlation of QBO between the 5 points in the Kuroshio axis and mode 1 in EEP

1) 见第 485 页脚注 1)。

周期振荡与赤道东太平洋联系不大。

### 3. 位相合成

合成的方法对于刻划一系列波动不同位相在空间的基本特征是很有效的。实际上,这是一种对同位相的特征值进行平均的方法,如 Murakami 所采用的方法<sup>[6]</sup>,把一个波分作 8 个相等的时间间隔,共 9 个点(以下简称“拍”)。第 1, 9 两点位于波谷;第 5 点位于波峰;3, 7 点位于平衡位置;其它点按顺序分配在各自相应的位置上,然后对若干波动进行同位相平均。以下取 1954 年以来,赤道东太平洋发生的 6 次 El Nino 过程(即 1957, 1963, 1965, 1972, 1976, 1982 年),在上述带通滤波意义下,对赤道东太平洋 38 点的水温振荡进行合成,并按同样的时间对黑潮流域 20 点的水温振动作相同的处理。合成结果见图 6, 这里只绘出了这两个区域 1, 3, 5, 7 等 4 拍的水温距平值的分布。

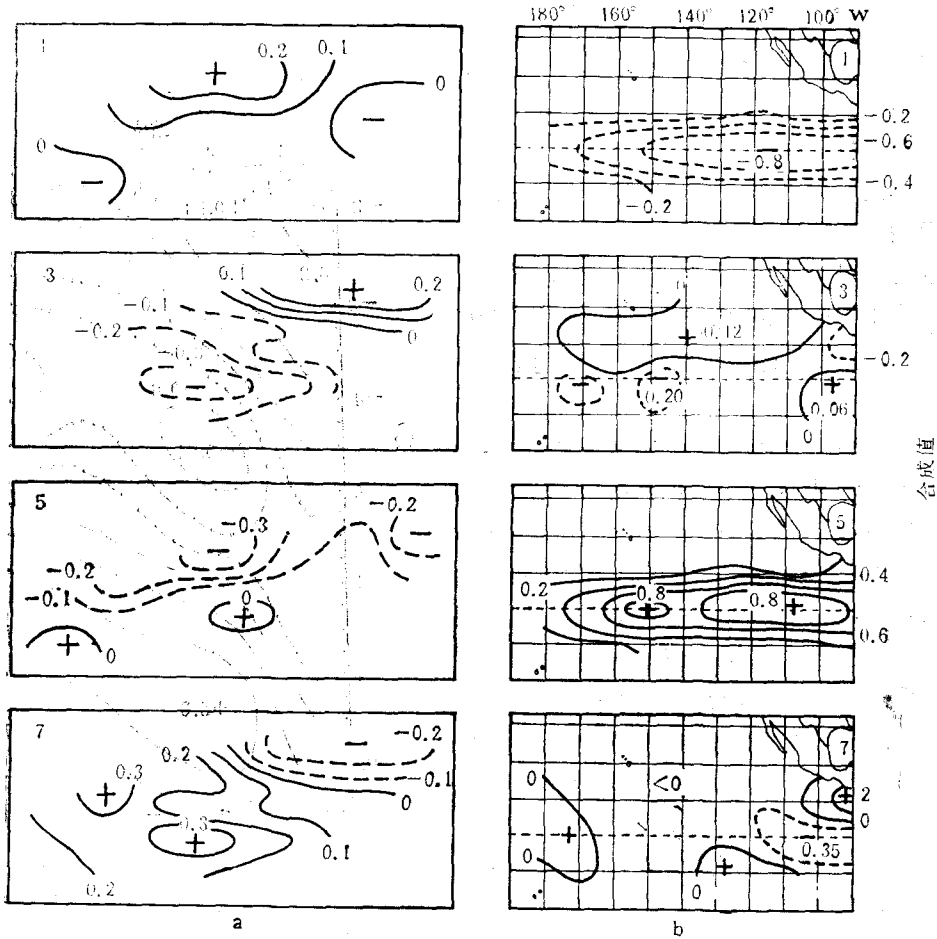


图 6 准两年周期的位相合成

Fig. 6 The QBO composite

a. 黑潮流域; b. 赤道东太平洋。

图 6b 表明,第 1 拍在南北纬 10° 之间,赤道东太平洋水温异常呈典型的反 El Nino 特征;第 3 拍赤道以北出现大片正距平区;第 5 拍 El Nino 发展成熟;第 6 拍开始赤道正

距平减弱；至第 7 拍负距平扩展到  $120^{\circ}\text{W}$ ，此后逐渐回到第 1 拍的状态。这一过程反映了一次 El Niño 事件的兴衰。与这一过程相适应，黑潮流域的水温变化（图 6a）显示出一种滞后响应。图 6a 表明，第 1 拍黑潮流域基本上呈正距平，第 3 拍除  $35^{\circ}\text{N}$  以北还保留正距平外，其它区域已变成负距平。至第 5 拍，在黑潮上游开始出现正距平值，暖水已开始影响到黑潮流域，这正是赤道东太平洋 El Niño 最成熟的阶段。第 7 拍除  $35^{\circ}\text{N}$  以北还残存负距平外，全区几乎为正距平所控制，这是黑潮流域增温最显著的阶段，第 8 拍正距平开始减弱。显然，在准两年周期里，黑潮流域水温的振动对 El Niño 事件的响应滞后大约 2 拍，即 6—7 个月。这与上述相关分析的结果相符。

### 三、周期大于 28 个月的低频振荡

除准两年周期外，赤道东太平洋水温的第一模态和黑潮流域的第二模态都存在周期大于 28 个月的低频振荡，为弄清在这个频域里，黑潮流域水温振荡对赤道东太平洋的响应，在截断频率  $F_c = \frac{1}{28}$  月<sup>-1</sup> 的低通意义下，以赤道东太平洋第一模态作参考系与黑潮流域 5 点的第二模态作时滞相关分析。结果（图 7）表明，黑潮滞后 8—9 个月才达到最佳正相关，其最大相关系数只有 0.26。虽然通过  $\alpha = 0.01$  的信度检验，然而两者的相关系数比准两年周期的小得多，而且仅限于最南一个点（ $20^{\circ}\text{N}$ ， $125^{\circ}\text{E}$ ）。这意味着在低频段，黑潮流域水温与赤道东太平洋水温之间仅限于  $20^{\circ}\text{N}$  以南有较高的相关性。

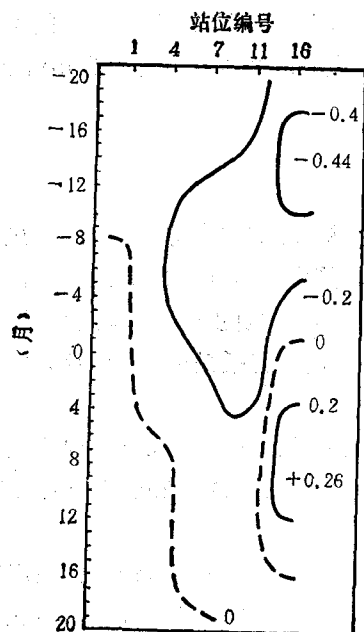


图 7 黑潮流轴 5 点第二模态与赤道东太平洋第一模态在低频段的时滞相关

Fig. 7 The lag correlation of the low frequency oscillation between 5 points of mode 2 in the Kuroshio and mode 1 in EEP

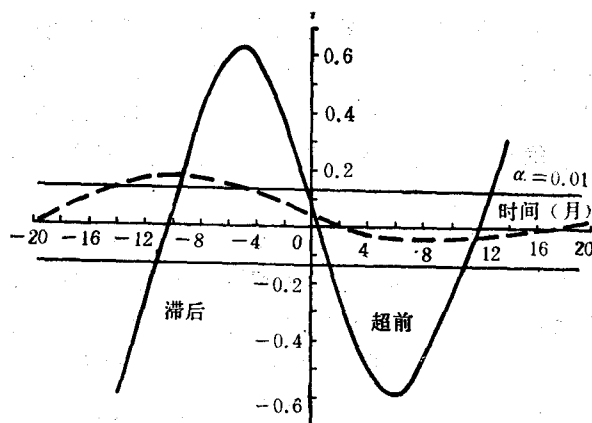


图 8 黑潮流域第二模态与赤道东太平洋第一模态的时滞相关

Fig. 8 The lag correlation between mode 2 in the Kuroshio and mode 1 in EEP  
——准两年周期；-----大于 28 个月的低频段。

为进一步揭示两者之间的关系,并与准两年周期作比较,对赤道东太平洋第一模态和黑潮流域第二模态的时间系数在低频域和准两年周期里分别作时滞相关,其结果(图8)表明,相关曲线接近于余弦函数曲线。在周期大于28个月的低频域里,这种相关性很弱,最大相关系数只有0.18,而且是在黑潮落后10个月时才达到。而在准两年周期里,黑潮流域与赤道东太平洋水温异常的关系十分密切,当黑潮滞后5—6个月时,最大相关系数达0.64,负值相关系数也类似。

显然,就整个区域而言,黑潮流域水温异常与赤道东太平洋之间的联系,在准两年周期振荡这一频域是主要的,而在大于28个月的低频段相关微弱。

#### 四、结论和讨论

与北赤道流一脉相通的黑潮暖流进入中纬度地区之后,在其整个流域中以海面温度为代表的热力状况所发生的变化是独特的。我们设想这一支强大的暖流流系所携带热量,一方面由流系本身的强弱,特别是由其平流输送强弱所决定;而另一方面因黑潮在中纬度地区,这个区域是世界上最典型的季风区,季风本身的振动将影响黑潮流域表层水温的变化。强大的干而冷的冬季风对黑潮流域的影响特别显著,它可以导致表层海水发生强烈的垂直混合,致使海面大量丧失潜热和感热。黑潮流域与其它区域相比,在一年中向大气中传输的总热量是最大的<sup>[6]</sup>,而且在任何季节都是正值,这意味着它总是丧失热量。当然海面一面损失热量,一面又被海水的平流输送所补偿<sup>[7]</sup>,这种补偿主要靠黑潮流系本身的水平流动,而黑潮的变化与北赤道流又是一脉相通。这样以来,黑潮流域表层水温的实际变化将取决于两个主要因素:一是东亚季风的强弱;二是黑潮流系本身平流补偿的能力。简单地考虑一个制约局地水温变化的模式:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla T + \dot{Q}$$

其中 $T$ 为水温, $\mathbf{V}$ 海水水平流动速度矢, $\dot{Q}$ 表示非绝热因子的影响。考虑到季风强弱影响对流混合,所以把垂直对流项归于因子 $\dot{Q}$ 。这样,黑潮流域水温的局地变化便由两个主要过程所制约:一是水平平流过程;二是非绝热过程。平流的意义是显而易见的,而非绝热过程 $\dot{Q}$ 主要反映由于气象因子异常所引起的总热量(包括潜热、感热及大气回辐射等)的振动。

东亚气象因子长周期的振动,主要表现在东亚季风的异常。东亚季风存在周期大于20个月的低频振动,它对黑潮流域水温的影响主要反映在该流域水温变化的第一模态<sup>[1]</sup>,因此,我们把其第二模态归于黑潮暖流本身的平流作用。

黑潮流域对赤道东太平洋水温异常的响应,相关分析和合成研究的结果表明,在周期大于28个月的低频段,虽然黑潮流域与赤道东太平洋有一定的相关,但这种相关很微弱,而且主要反映在黑潮上游 $20^{\circ}\text{N}$ 以南海域。但在准两年周期的振荡过程中,黑潮流域对赤道东太平洋的水温振荡存在明显的响应,并具有约6个月的位相落后。这意味着在黑潮流域的平流补偿过程中,起决定作用的是准两年周期振荡。

我们注意到,黑潮流域前两个主要模态的方差对总方差的贡献已占58.2%,可以说构成了黑潮流域水温低频变化的主要部分,但不是全部。因此,有必要进一步研究构成该流



域水温低频变化的其它因子。

### 参 考 文 献

- [1] 于慎余、周发秀, 1988。黄海陆架与黑潮流域表层水温低频振动的相似性。海洋预报 5(2): 8—14。
- [2] 王绍武、赵宗慈、陈振华等, 1980。冬半年海洋与大气的相互作用。海洋学报 2(2): 27—39。
- [3] 李克让、陈永申、司有元等, 1980。北太平洋海温场的时空特征分析。海洋学报 2(3): 38—49。
- [4] 杜碧兰, 1986。东海及外缘海域表层水温场的分析与预报。海洋预报 3(1): 1—9。
- [5] 莫如平, 1987。北太平洋海洋环流遥相关现象。海洋学报 9(5): 568—575。
- [6] 符淙斌、苏炳凯, 1981。北太平洋主要洋流区海面温度的长期振荡。海洋与湖沼论文集。科学出版社, 29—40。
- [7] 近藤纯正, 1980。大气海洋間のエネルギー交換と收支—冬期東シナ海。海洋科学 12(3): 166—172。
- [8] Murakami, M., 1979. Large-scale aspects of deep convective activity over the GATE area. *Mon. Wea. Rev.* 107: 994—1013.
- [9] Yamagata, T., Yoshiaki Shibao and Shin-ichiro Umatami, 1985. Interannual variability of the kuroshio extension and its relation to the southern Oscillation/El Niño. *J. Ocean. Soc. Japan* 41: 274—281.
- [10] Yong Ping Zhao and G. A. McBean, 1986. Annual and interannual variability of the North pacific ocean-to-Atmosphere total heat transfer. *Atmosphere-ocean* 24(3): 265—282.

## THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LOW FREQUENCY OSCILLATIONS OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE IN THE KUROSHIO REGION AND THAT IN THE EQUATORIAL EASTERN PACIFIC

Yu Shenyu and Zhou Faxiu

(Ocean University of Qingdao)

### ABSTRACT

In this paper monthly sea surface temperature anomalies (SSTA) for the period 1954—1983 in the Kuroshio area and the equatorial eastern Pacific are analysed by using the empirical orthogonal function. Moreover the digital filters and the time lag correlation are employed to analyse the SSTA for this period. The results show that different low frequency oscillations of the SSTA exist in the above-mentioned areas in which the quasi-biennial oscillation in the 'Kuroshio' with 6-month lag responds obviously to that in the equatorial eastern Pacific, however the response of more than 28-month oscillation in the **Kuroshio is a little and only confined to the south of 20°N.**