

# 太平洋海水温度异常对东亚大气环流 和我国旱涝影响的若干事实

中国科学院大气物理所长期预报组

## 前 言

近年来,世界范围的气候异常引起了人们的普遍注意。但由于对长期天气过程的演变规律了解得十分不够,对气候异常的原因目前还处在假说阶段。为了进一步提高长期天气预报的准确率和弄清气候异常的规律,开展对长期天气过程物理本质的研究是十分必要的。

运转大气这样一部热机,根本的能量是太阳辐射,由于空气的热容量很小,能储存的热量很少,大部分的辐射能被下垫面接受后再以各种不同的形式供给大气。在某种意义上说,下垫面可以看成是供给大气运动能量的储存器和调节器。由于下垫面海陆分布不均,下垫面接受到的辐射能量以及再贡献给大气的能量在地理上也是不均匀的。由于大气运动造成的云量分布不仅在空间上而在时间上也是不均匀的,再加上下垫面和大气之间的相互作用随两个介质(大气和海洋)的运动状态和物理状态而异,因此下垫面接受到的外来能量以及再贡献给大气的能量,在时间上同样是不均匀的。这样就造成了长期天气变化的复杂性和多样性。

在这一方面,海洋的作用是需要注意的。不仅因为它的比热比空气大很多,能储存更多的外来辐射能量,同时就其范围也要比陆地大三倍左右。再者,和陆地不同,它作为一种流动介质和大气之间存在着复杂的相互作用,能以多种形式(长波辐射、感热和潜热的湍流和对流交换等)和大气发生能量交换。因此可以预计,海洋在造成长期天气变化过程中起重要的作用。十几年来,不少搞长期天气预报实际工作和研究工作的人都在注意海洋的作用,把它作为影响长期天气过程的一个不可缺少的因子<sup>[1]</sup>。在这方面,我国的气象工作者,早在50年代初就提出太平洋海水温度异常和海冰分布异常对我国旱涝的重要影响<sup>[2,3]</sup>。

在本文中,我们以实际资料来揭示太平洋海水表面温度异常对东亚大气环流和我国某些地区降水影响的若干事实。

所用太平洋海水表面温度资料,1949—1962年取自美国出版的海温图<sup>[4]</sup>,1963—1971年取自日本气象厅出版的气象要览。1972年及1973年1—2月的资料取自国家海洋局所接收的传真图。

## 冬季海水温度异常对我国汛期降水的影响

### 1. 影响我国东部地区汛期降水的关键区

为了探讨太平洋海水温度异常对我国东部地区汛期降水影响的可能性,首先我们作出了

1949—1962年 14 年逐年逐月太平洋海面温度距平图。其次，我们选了长江三角洲（上海、南京、南通、杭州四站）5 月的降水距平百分率和华北（北京、保定、石家庄三站）7、8 两个月的平均降水距平百分率为试验区，来试验与前期太平洋海温之间是否存在相关。

用这两个试验区的降水距平百分率  $R'\%$  分别和整个太平洋前期冬季三个月（12月、1月、2月）的海温距平累积量  $T'_w$  逐点作相关。

相关系数按定义取为

$$\gamma = \frac{\Sigma R'\%T'_w}{\sqrt{\Sigma(R'\%)^2 \Sigma(T'_w)^2}}$$

图1, 2分别是长江三角洲5月降水和华北7、8月总降水量的距平百分率与前期冬季太平洋海面温度距平的相关分布。图中  $\gamma = 0.46$  的区域相当置信度为 0.10,  $\gamma = 0.53$  相当置信度大于 0.05。在图上有一醒目的现象，即在太平洋上，对于长江三角洲和华北地区的降水，相关系数大的地区只出现在从我国台湾东北开始紧靠日本东侧北上，一直延伸到  $40^\circ\text{N}$  这一狭长地带。其中图1,  $\gamma$  最高达 0.71, 出现在  $40^\circ\text{N}$ ,  $155^\circ\text{E}$  这点上；图2,  $\gamma$  最高达 0.78, 出现在  $30^\circ\text{N}$ ,  $135^\circ\text{E}$  这一点上。这一狭长地带正好是太平洋中最大的暖流黑潮所在。这是一个很有意义的事实，它说明冬季黑潮在温度上的强弱，对我国东部某些地区的汛期降水可能有重要的影响。事实上，根据 Jacobs 的计算<sup>[5]</sup>黑潮是西太平洋海洋与大气之间能量交换的一个重要地区。

除黑潮这一相关带外，在图1, 2上还发现，在日本东北鄂霍次克海南端还有一相对大的负相关区，这实际上反映了另一支寒冷的洋流——亲潮的影响。

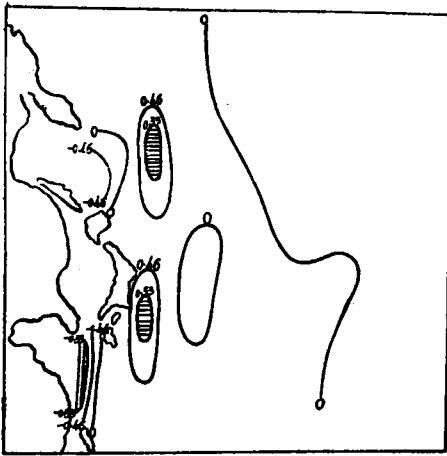


图1 长江三角洲5月降水与冬季太平洋海温距平的相关

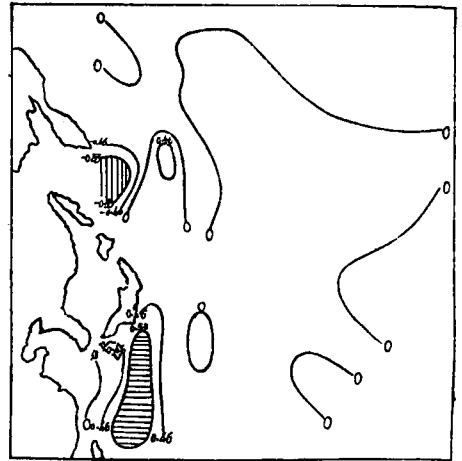


图2 华北7、8月降水与冬季太平洋海温距平的相关

图3是  $30^\circ\text{N}$ 、 $135^\circ\text{E}$ ,  $40^\circ\text{N}$ 、 $155^\circ\text{E}$  这两点冬季海温距平累积量的平均年际变化曲线和长江三角洲5月降水距平百分率的年际变化曲线，这两条曲线是相当一致的，其相关系数达 0.88, 超过了 0.001 信度的要求水平 ( $\gamma = 0.78$ )。特别引起重视的是，象 1954 年和 1956 年这样特大的洪涝，在前期黑潮的强度上就反映出来了。图4是  $30^\circ\text{N}$ 、 $135^\circ\text{E}$ ,  $25^\circ\text{N}$ 、 $130^\circ\text{E}$  这两点冬季海温累积量的平均逐年变化曲线，和华北7、8两月平均的降水距平百分率

逐年变化曲线，这两条曲线的趋势基本上也是一致的，相关系数达0.85。

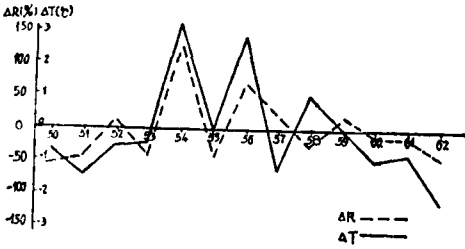


图3 长江三角洲5月降水与 $30^{\circ}\text{N } 135^{\circ}\text{E}$ 冬季海温距平累积的逐年变化

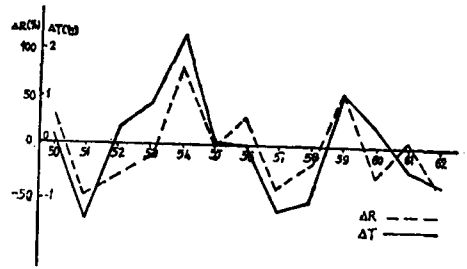


图4 华北7、8月降水与 $25^{\circ}\text{N } 130^{\circ}\text{E}$ 冬季海温距平累积的逐年变化

这一试验初步表明，太平洋某些地区如黑潮和亲潮的温度异常，对后期我国汛期降水不仅有影响，而且影响还是显著的。

## 2. 相关场的逐月演变

上节指出，前冬黑潮的强弱对某些地区汛期降水有密切的关系。现在进一步讨论黑潮的影响从什么时间开始，又持续到什么时候。

先分析长江中下游（取武汉、九江、芜湖、南昌、安庆、屯溪六站为代表）梅雨盛行的6月的降水与前期太平洋海水温度的逐月相关（计算方法同上）。

为了节省篇幅，下面只给出最高相关区的时间演变图。

沿黑潮的地理位置从 $20^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E}$ 向东北到 $50^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}$ 作一条线，把线上各点的相关系数的逐月变化绘成图5，图中纵座标是点的位置，横座标是月份，仍按0.46（信度0.10）和0.53（信度0.05）画等值线。由图可见，黑潮的影响先从低纬开始，逐渐向北延展，到1月南北长达15个纬距，在 $30^{\circ}\text{E}$ 、 $135^{\circ}\text{E}$ 相关系数数值高达0.77，再以后黑潮的北端保留，南端减弱。同时也看到亲潮的影响，但不如黑潮那样连续有规律。

再看华北（北京、保定、石家庄）7、8月降水的情况。图6是沿黑潮一些点上的相关系数逐月变化。与图5相比，黑潮的影响从12月才开始，并一上来就从中纬度开始，不象长江流域那样从低纬开始，到2月份带的长度最长，北端超过 $40^{\circ}\text{N}$ ，而最强的一点也在北端（ $40^{\circ}\text{N}$ 、 $155^{\circ}\text{E}$ ）相关系数为0.59。3、4月影响消失，5月在个别点上出现。由此可见，虽然长江流域6月的降水和华北7、8月的降水都与黑潮有关，但影响出现的时间和影响最大的位置是不一样的。对华北来讲，北端 $40^{\circ}\text{N}$ 附近的影响要显著一些，对长江流域则 $30^{\circ}\text{N}$ 附近的影响要显著一些。

从图5、6可以看出，黑潮对汛期降水的影响，从前期秋末开始，前冬达最大，到春季开始逐渐减弱。

由于相关场演变是有规律的，看来在黑潮的地理位置上出现这一条高相关带，不是一个偶然的巧合，而是反映了海洋与大气之间相互作用的某些内在联系。然而，这个内在联系的物理过程还有待进一步揭露。

## 3. 冬季黑潮强弱和我国东部汛期雨带演变的关系

以上讨论了黑潮对长江中下游和华北这两个局部地区降水的关系，现在进一步分析冬季

黑潮的强弱对我国东部大陆雨带的位置和演变的影响。

我们计算了从1949—1971年这23年的海温与我国东部逐月降水的相关场。在计算中取 $25^{\circ}\text{N}$   $125^{\circ}\text{E}$ ； $130^{\circ}\text{E}$ ， $135^{\circ}\text{E}$ ； $30^{\circ}\text{N}$ ， $130^{\circ}\text{E}$ ， $135^{\circ}\text{E}$ ， $140^{\circ}\text{E}$ ； $35^{\circ}\text{N}$ ， $140^{\circ}\text{E}$ ， $145^{\circ}\text{E}$ ， $150^{\circ}\text{E}$ ； $40^{\circ}\text{N}$ ， $150^{\circ}\text{E}$ ， $155^{\circ}\text{E}$ ， $160^{\circ}\text{E}$ 等12点的冬季平均海温距平值来代表逐年黑潮的强弱，降水资料取自中央气象台长期预报组整理的分布在全国的65个测站的记录，仍用降水距平百分率。在1950、1951这两年有一些测站缺降水记录，我们是用多年年平均值来替补的。

在中国的气候学上，从春季到夏季东部大陆上的雨带有明显的季节位移。4月雨带主要在 $30^{\circ}\text{N}$ 以南的南岭地区，5月雨带在长江流域及南岭地区，6月在长江中下流是著名的梅雨季节，同时在华北雨季的降水也已经开始，7月进入夏季，梅雨结束，主要雨带北移至华北。对比我们计算

所得的降水和黑潮间的逐月相关图，这些气候学的事实，基本上已有所反映。4月在整個东部大陆，相关系数达到0.10信度要求的仅西南的个别点，南岭地区虽然是一正相关区，但信度达不到要求，这表明造成春季南岭雨带与冬季黑潮的关系不大，它是由另外的因素造成的。5月的相关场有明显的变化，整个长江流域是一个正相关区，沿长江中下游相关系数达到并超过信度0.10的要求，高相关区的南沿已抵南昌附近(图7)。我们曾对5月份长江流域以南地区的各点降水情况作过分析，发现在这一大片雨区中，福州、永安、南平等靠南的地带和温州、南城到长沙等靠北的一线它们的逐年降水趋势是不一样的，同时也计算了这南北两个地带的平均降水量和整个太平洋冬季海温距平的相关场，结果发现，南部降水和冬季整个太平洋中海海水温度的相关性都很低。但北边这一雨带却和冬季黑潮有关。这表明冬季黑潮的强弱对长江流域及其稍南地区从5月份开始有所影响。6月是春季到夏季的季节转变时期，天气学的研究表明这一转变带有突发性。反映在相关场上，除长江中下游仍维持一个相关系数高的地带外，在 $40^{\circ}\text{N}$ 一线东起辽东半岛，西达河套地区相关系数比5月份突然增高，变化很不连续，这时相关场的形势是，在我国东部大陆上，明显地并列着南北两条相关数值高的地带，显然，南边长江中下游这一条反映了梅雨，北边这一条反映了华北地区雨季的开始来临(图8)。7月(图9)华北平原东部的高相关区仍然维持，而反映长江中下游梅雨的相关系数

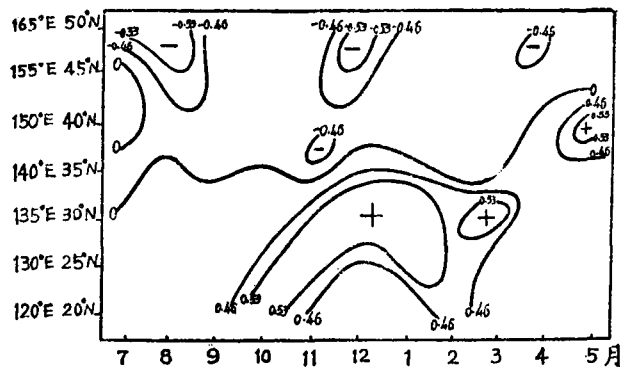


图5 沿黑潮各点，海温与长江流域6月降水相关系数的逐月变化

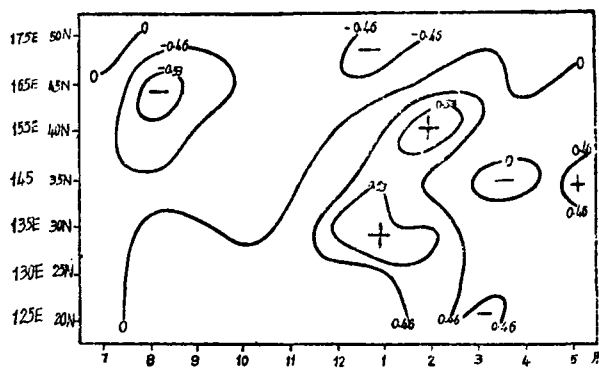


图6 沿黑潮各点海温与华北平原7、8月降水的相关系数的逐月变化。

高的一条带，除个别点外降到0.10信度以下，但在云贵直至湖南一线却出现了一狭长东北西南走向的高相关带。8月（图10）进入盛夏，相关场和6月、7月大为不同。

我国的气象研究工作者叶笃正〔6〕和陶诗言〔7〕等曾对东亚从春季到夏季季节转变过程中大气环流的演变特征作过详细的分析。他们指出，从春季到夏季的过渡时期中，亚洲上空的大气环流有着一个跳跃性的转变。同时指出，梅雨的来临、雨带的北移和西风带北撤以及相应西风带强度的削弱有密切的联系。但是他们并没有指出造成大气环流这种跳跃性转变的各种原因。

由于雨带在一定程度上反映了大气环流各方面相互制约的结果，因此有理由这样理解：东亚大气环流的季节突变和前期太平洋海水温度的异常有相当大的联系。虽然大气环流和海洋环流之间在一定程度上是同时并存相互制约的，但两者又有它由于其它因素造成的相对独立性，同时在这一对矛盾统一体中，在一个时期内必然有它的矛盾主要方面。如果在某一个时期当大气是处在矛盾的主要方面时，它将部分地造成海洋环流以及海水温度的异常变化。而在另一个时期中，当海洋是矛盾的主要方面时，通过它供给大气的能量，势将在某种程度上影响大气环流的一系列演变。由于冬季在黑潮

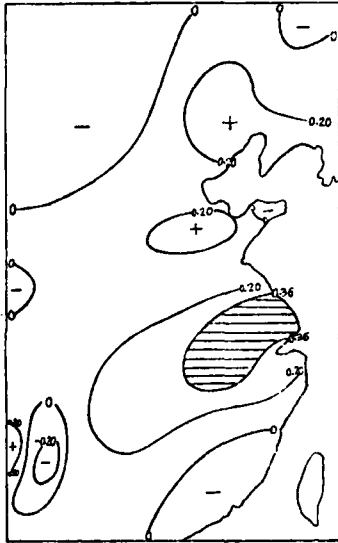


图7 冬季黑潮与5月降水距平的相关

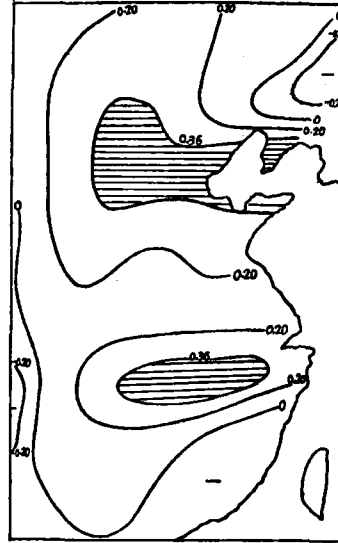


图8 冬季黑潮与6月降水距平的相关

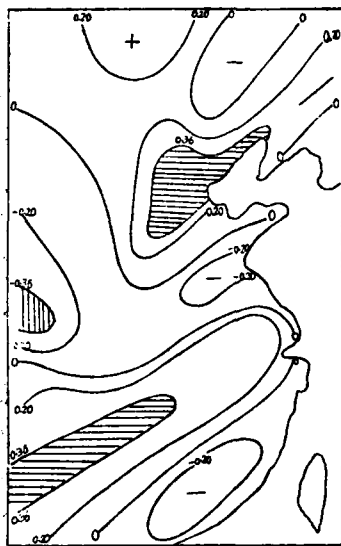


图9 冬季黑潮与7月降水距平的相关

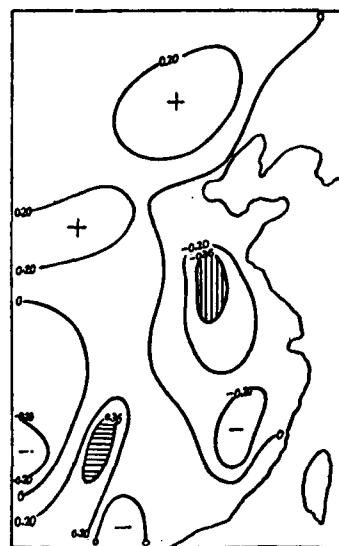


图10 冬季黑潮与8月降水距平的相关

潮地区将供给大气以大量的能量，因此可以认为，东亚大气环流春夏间的突发性转变，前期海水温度异常起着重要的作用（当然不是唯一的作用）。自然，这也决不仅是狭长的一条黑潮

引起的作用，象大气环流中温度锋区的形成一样，黑潮的强弱是整个太平洋海洋环流相互制约的后果，是反映海洋环流情况的一个表征而已。

#### 4. 小结和问题

从以上分析，可得到下面一些主要结果：

(1) 长江中下游和华北平原地区的汛期降水与前期黑潮地区的海面温度有正的相关。相关性从上一年秋季开始，冬季最大，到初春结束。

(2) 前冬黑潮地区海面温度与我国东部降水之间的相关场的演变，与我国气候学上雨带的生消和移动基本接近。

(3) 在长江中下游和华北平原出现的几次大的旱涝，在前冬黑潮地区的海面温度上大都有所反映。

海温和降水之间的这些联系，由于相关系数已达到一定的信度要求，在统计学上是可以置信的。但是，对这种联系所反映的长期天气过程却不很清楚。例如：

① 在天气气候学上，各气候区雨季的来临，有一定的天气形势与之相配合。如果这种联系反映了某种长期天气过程，那么这种相关性应在一些制约雨季演变的半永久性天气系统的活动上有所表现。有没有表现，是怎样表现的呢？

② 根据 Jacobs<sup>[5]</sup>早期的计算，黑潮地区的海水在冬季将输送大量的热量给大气，如果是通过海洋的加热来影响某些半永久天气系统的活动，那么为什么冬季的影响到夏季才表现出来，特别反映在黑潮地区海面温度和降水的相关场的演变上，到接近雨季来临时，相关性反而减弱了？亦即为什么大气对海洋加热响应的滞后时间会这么长？

## 海气相互作用及其对我国旱涝影响的若干事实

我们将应用 1949—1962 年的海温和气象资料，着重分析某些天气系统对海洋加热响应的一些特征：如响应的季节性，响应的滞后时间，响应的持续性等。同时也将给出大气对海洋反馈影响的一些事实。在确定这些事实客观存在以后，进一步对大气对海洋加热响应的滞后时间在理论上加以初步的估计。

### 1. 黑潮地区的水温对副热带高压进退的影响

天气学的研究表明，副热带高压的进退，对夏季我国东部的降水有重要的影响。既然前冬黑潮地区的海面温度对长江流域 5、6 月份和华北平原 7、8 月份的降水有联系，那么这种联系必然在副热带高压的进退上也有所反映。

为了探讨这种联系是否存在，我们计算了 1950—1962 年  $120^{\circ}$ — $160^{\circ}$  E、700mb 等压面上  $30^{\circ}$  N 和  $50^{\circ}$  N 之间的西风环流指数（即  $30^{\circ}$  N 和  $50^{\circ}$  N 之间的高度差）。资料是从美国出版的每月天气评论所附的月平均图上读下来的。一般来说，在这些经度和纬度上，环流指数的加大主要由两方面的因素所决定，一是南边副热带高压的北抬，二是北边大槽的发展。海温资料取自 Eber 等所编的图<sup>[4]</sup>。点出每年逐月环流指数和海温距平的曲线。然后寻找环流指数相对于海温距平曲线在同期或落后一个时期的同相或反相的相似。对于相似性要求在所取的相似月份内，不能多于一个点的反相。即使对一个点的反相，也要求其反相程度不要太大。所得到的结果（见图 11）反映了下面一些基本事实：

(1) 在这13年的每一个年度(或跨年度)中,环流指数在时间上都存在一个落后于海温并与海温月际变化相同的相似过程。

(2) 相似过程的环流指数,落后于海温最长的是9个月(2次),最短的是3个月(1次),平均为5个月。

(3) 相似过程的持续时间,长的达8个月,短的为6个月,平均为7个月。

(4) 在这一对相似过程中,海温的开始时间主要在秋末初冬,相应的环流指数的开始时间,主要在春末夏初。

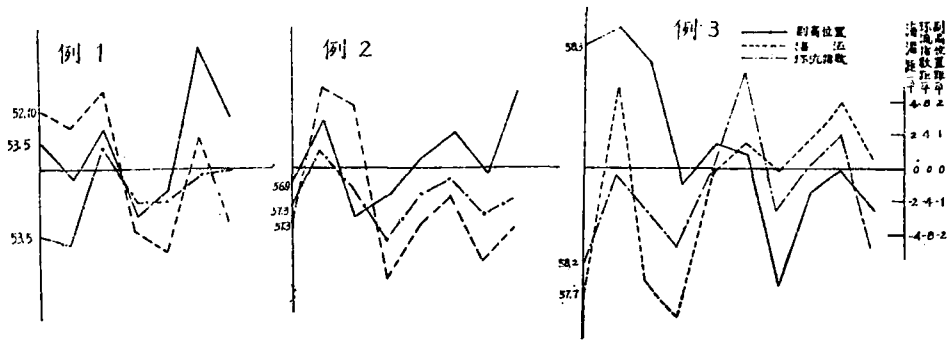


图 11 西风环流指数和副高位置与黑潮地区海面温度变化的相似过程

## 2. 黑潮地区水温对东亚大槽强度的影响

为减少工作量,我们简单地用 $50^{\circ}\text{N}$ 、 $130^{\circ}\text{E}$ 这一点500mb上的位势高度距平值来代表东亚大槽的强度变化。用上节相同的方法选择了它和前期黑潮地区水温的相似形势。我们发现,在每一年度(或跨年度)同样可以找到相似过程,不过是一种反相的相似过程。所得结果给出三个例子(见图12)。

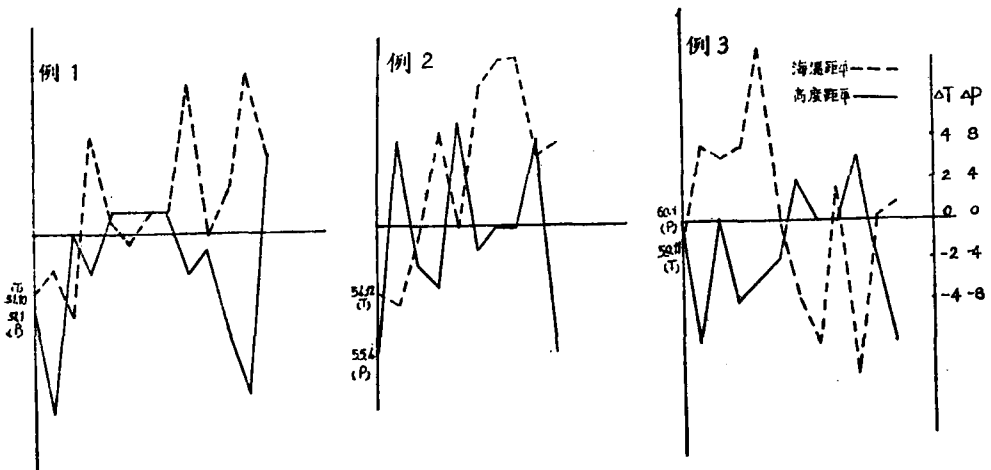


图12  $50^{\circ}\text{N}$   $130^{\circ}\text{E}$ 处500mb高度距平和黑潮地区水温变化的相似过程

这一种相似过程特征是:相似的高度场落后于海温场3—5个月,个别有一年是二个月,平均近4个月;相似过程的持续时间,最短的为6个月,最长的达12个月,平均为8个半月。

相似过程中海温的开端时间，早的在前一年的9月，晚的在1月，多数在10月左右。相似过程中高度场的开端时间，早的在前一年的12月，一般都在3、4月，个别年份也有在5月份开始的。

这一相似过程所反映的天气学事实，是和黑潮地区海面温度和降水的相关分析结果一致的。

在黑潮地区这个热源（热汇）的西边槽（脊）要加强这个事实，与过去的理论工作所得到的结论是一致的。最早 Smagorinsky [8] 对于热源对大气运动影响的常定解就表明，所产生的高空槽位于热源西边约15个经度，以后朱抱真 [9] 的计算同样得到这样的结果。对于热源影响下的非常定运动，结果也很类似，高空槽稳定地位于热源西边30—40个经度 [10]。

我们是这样来理解这一节所揭露的事实：在黑潮地区冬季水温加热的不断影响下，使得在一个季度以后，在这个热源的西边造成了有利于高空槽发展的条件，通过高空大槽在这个地区的加强又为在它南边的锋区中的气旋活动创造了有利的背景，从而增多了降水。

### 3. 亲潮地区海面温度对鄂霍次克高压的影响

对降水的相关分析指出，对6月份长江流域和7、8月份华北的降水来说，除黑潮地区的水温外，亲潮地区的水温也很重要。对这些地区这些月份的降水条件来讲，鄂霍次克高压也是其中重要因子之一。现在我们转向分析亲潮地区海面水温对它可能的影响。

取45°N的150°E、155°E两点的海温距平代表亲潮地区的水温，用50°N的120°E到160°E各点700mb的平均高度距平来表示鄂霍次克海地区高压的活动情况。资料分析方法同前。

我们同样得到了反相的相似过程，逐年的结果在这里也给出三个例子（图13）。相似过程的特征与东亚大槽类似，说明从略。

### 4. 大气对海温反馈影响的一些事实

在大气和海洋这对互相制约的矛盾体中，在某个地区的一段时间内，相对地海洋成为矛盾的主要方面，它将不断对大气的运动供给热量，但当

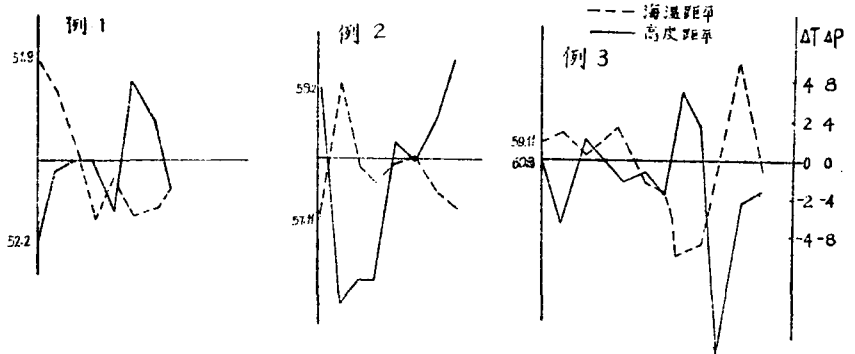


图13 鄂霍次克高压的强度月变化与前期亲潮地区水温月变化的相似过程

条件改变后，大气的运动反过来又将在一定程度上影响着海水温度的变化。海洋动力学中的风吹流理论就表明，当大气底层空气运动剧烈时，通过空气和海水之间的摩擦应力，将带动海水的运动，这时如果运动着的空气是属于一个低压系统，那么在低压中心下面的海水将往上翻，这样海面下的冷水上翻到海表层后，海面温度就要降低；反之，当在高压的情况，海表温度要增高。这是大气运动对海温影响的直接方面。还有间接方面，这就是在气旋频繁活动区，由于云量的增加，将影响海面的辐射平衡温度。

我们分析了资料后，发现大气对海温的影响也是存在的，虽然结果不如海洋对大气的影



响那样规律性清楚。

图14是东亚大槽对黑潮地区海面温度影响的相似过程。与前三节不同，现在是海温的变化落后于高度场的变化。同时与第二节的情况相反，现在是一种同相的相似过程，亦即是说当东亚大槽加强（高度场减小）时，黑潮地区的海温将降低。根据上面的讨论，这种同相的相似过程是可以解释的。当东亚大槽加强时，锋区的气旋活动增多，这些气旋出海后，通过和海水的相互作用，使海水上翻从而海面温度下降。

大气对海温的影响，基本上是一种夏半年的大气运动影响冬半年海温的过程。相似过程中气压场的起始时间一般发生在春末夏初，持续时间一般也在半年左右。海温变化的响应时间也约滞后半年左右。

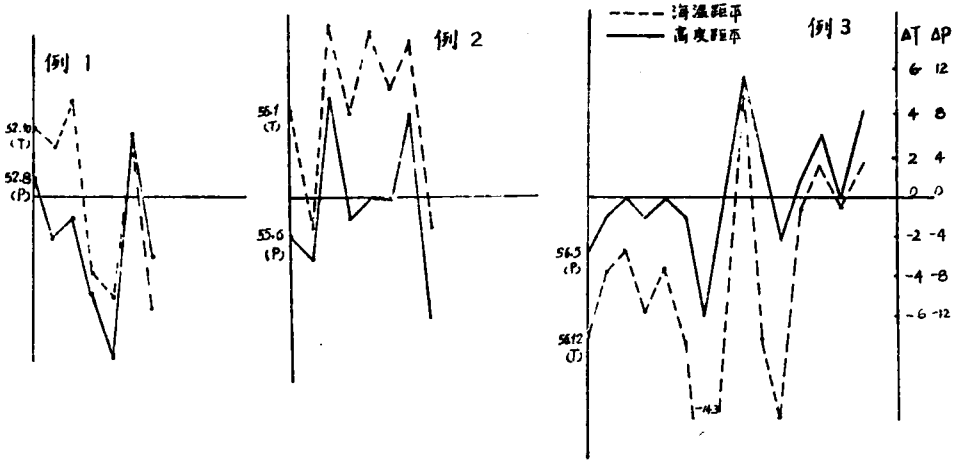


图 14 东亚大槽影响黑潮地区水温的相似过程

### 5. 大气对海洋加热响应滞后时间的理论估计

上面所揭露的事实表明，大气中的物理量相对于海温变化的相似过程，一般要滞后一到两个季度。为什么会这样缓慢呢？现在我们来做一个简单的理论分析。

在过去的一些理论工作中，大气对加热场的响应时间一般只落后一个月左右<sup>[10, 11]</sup>，我们注意到，在这些工作中，加热是在对流层中部进行的，这显然不同于海气热交换这样的物理过程，因为海洋对大气的加热是在大气层底部海气交界面上进行的。同时海气之间的热交换量对于可感热来讲，是正比于海水温度和大气温度之差的，即  $Q \sim (T' - T)$ 。即使不考虑大气运动对海洋温度  $T'$  的反馈影响，这种加热也和给定一个已知时间变化的加热函数不一样，因为当海洋对大气的加热一开始后，大气温度在一段时间中要增高，这时热交换量  $Q$  要向着减小的方向调整。由于这两方面的原因，大气响应的滞后时间就有可能不同。现在来估计一下这个滞后时间。

取下面这样一个简单的线性模式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - fv &= -\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p'}{\rho_0} \right) & \frac{\partial v}{\partial t} + fu &= -\frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{p'}{\rho_0} \right) \\ 0 &= -\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{p'}{\rho_0} \right) + \frac{g}{T} T' & \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + (\gamma_* - \gamma) W = \frac{1}{C_p} K (T'_* - T') \eta(z)$$

式中

$$\eta(z) = \begin{cases} 1 & \text{当 } z=0 \\ 0 & \text{当 } z>0 \end{cases}$$

$$K = 100 \text{erg g}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \text{Sec}^{-1} [12]$$

在准地转近似下，当不考虑  $f$  的纬度变化时，并当海温偏差取

$$T'_* = T_* \cos ky \sin \frac{2\pi}{L} \sin \frac{2\pi}{T} t$$

时，在边界条件

$$z=0, \quad \frac{\partial T'}{\partial t} = \frac{1}{C_p} K (T'_* + T')$$

$z \rightarrow \infty$ , 解为有界

可以求得大气运动对加热的滞后时间（用角度表示）为

$$\theta = \text{tg}^{-1} \frac{Q_*}{\sigma}$$

式中  $\sigma = \frac{2\pi}{T}$ ,  $T$  为加热周期，而

$$Q_* = \frac{KfL^2}{C_p \frac{g}{T} - T_*^* H}$$

$H$  为对流层顶高度， $T_*^*$  为海温偏差量，容易看出  $\theta$  在  $0$  到  $\pi/2$  之间变动，当  $L$  大于  $1000$  公里、 $T_*^* \approx 1^\circ\text{C}$  时， $\theta$  很快接近  $\pi/2$ 。

因此当加热周期为一年时，滞后时间约为一个季度。对于黑潮地区的海温它有规则的周期性变化一般周期都比一年要长，这样滞后时间一般都要大于一个季度，当周期为两年时，滞后约两个季度。这样的理论估计值比较接近实际值。

影响长期天气过程的因子是多种多样的，即使对于海气相互作用来讲，也是一个极为复杂的问题，由海气相互作用所造成的长期天气变化的现象也一定是很丰富的。我们这个报告中所揭露的一些事实，只是初步的，特别是所用资料的年代太短，就这些现象是否稳定也有待进一步探讨。

详细的讨论及图表可以参阅原始报告<sup>[13, 14]</sup>，应用上面的结果制作1973年长江中下游和华北平原的汛期降水预报见报告<sup>[13]</sup>的附录。

### 参 考 文 献

- [1] Sawyer, J. S., WMO, Technical Note, 66(1965), 227.
- [2] 吕炯, 地理学报, 18(1951), 69—88.
- [3] 吕炯, 地理集刊(气候学), (1963), 1—32.
- [4] Eber, L. E., etc. Monthly mean charts, Sea Surface temperature of north pacific ocean. 1949—1962, U. S. Department of the interior, (1968) .
- [5] Jacob, W. C., Compendium of meteor, (1951), 1057.
- [6] Yeh, T. C., etc. (叶笃正等), The atmosphere and the sea in motion, (1959), 249.
- [7] 陶诗言等, 气象学报, 28 (1957), 234—247.
- [8] Smagorinsky, J., Q. J. R. M. S. 79(1953), 342.
- [9] 朱抱真, 气象学报, 28 (1957), 198—224.
- [10] 巢纪平, 许有丰, 动力气象论文集, 顾震潮等著, (1961), 90—95.
- [11] Win-Nielsen, A. Proc. Sym. Numerical weather forecasting, Tokyo, Japan. IV(1968), 21—27.
- [12] Haltiner, G. J., Tellus, (1967), 183.
- [13] 大气物理所长期预报组, 冬季太平洋海水温度异常时对我国汛期降水的影响, (1973).
- [14] 大气物理所长期预报组, 海气相互作用及其对我国旱涝影响的若干事实, (1973).