

# 北太平洋海温与其上 500hPa 高度场 典型相关及其预报试验

姜 宏 川

(青岛海洋预报台, 266033)

胡 基 福

(青岛海洋大学)

## 提 要

本文对 1951—1986 年北太平洋海表温度与其上 500hPa 高度场月平均资料进行了典型相关分析, 结果表明: 海温与高度场之间有着很好的相关关系, 它们的高相关区域集中在各主要洋流区及相应的大气活动中心, 并且其第一对典型场的时空变化清楚地反映了厄尔尼诺发生时高度场与海温的对应关系。最后, 本文根据典型相关理论建立了高度场依据海温典型变量变化的回归模型, 然后利用海温典型变量的自回归递推预报结果, 试报了连续 3 个月的 500hPa 高度距平场, 效果尚好。

关键词: 北太平洋; 海温; 500hPa; 典型相关分析; 预报试验。

## 一、引 言

很多研究表明, 海温对大气环流和长期天气过程有着显著的影响。大范围的海温异常不但具有局地效应, 而且会造成全球大气环流的相应改变, 一次典型的厄尔尼诺过程会引起全球性的气候异常, 给世界的许多地区带来灾害。因此, 近十几年来, 研究海温对天气气候的影响并如何进行准确预报已成为国内外气象工作者的重要课题。Davis<sup>[1]</sup> 将北太平洋中纬度范围内的海表温度和海平面气压分别作正交函数展开, 详细讨论了两者的关系, 并在海温预报的可行性方面进行了一番探讨, Barnett<sup>[2]</sup> 利用北太平洋海温与海平面气压为因子, 制作了北美气温的预报; 同期, 我国的气象学家在海温对北半球及东亚地区大气环流、台风的活动、夏季旱涝以及我国东北地区夏季温度的影响等方面进行了大量的研究<sup>[3-7]</sup>, 并且根据大气对海温的滞后响应关系, 利用海温因子做出了副高强度趋势预报和我国汛期降水预报<sup>[8,9]</sup>。

本文将大气和海洋的相互作用视为同一系统的两组随机变量, 先对北太平洋海表温度和其上 500hPa 高度场进行典型相关分析, 研究它们之间的总体相关关系, 求出它们之间相关最大的显著变量即典型变量, 并进行了时空分析, 又在此基础上利用前 6 对典型变量, 以海温典型变量为预报因子, 建立了 500hPa 高度场的回归模型, 预报时再把海温典型变量的自回归递推预报结果代入回归方程, 最后做出了北太平洋 500hPa 高度场的连续 3 个月预报。

## 二、数据资料的降维处理

本文所用北太平洋海表温度资料和其上 500hPa 高度场资料取自 1951 年 1 月—1986 年 12 月逐月格点平均资料,海温取  $20^{\circ}\text{N}$  以北间隔  $5^{\circ}$  共计 147 个格点;高度场范围自  $120^{\circ}\text{E}$ — $120^{\circ}\text{W}$ ,  $20^{\circ}$ — $70^{\circ}\text{N}$   $5 \times 10^{\circ}$  网格共计 143 个格点,资料序列总长度为 432 个月.由于逐月平均海温场与高度场资料存在年变化,为了消除这种年变化,我们对上述资料阵各自进行了标准化处理,又考虑到海温场与高度场格点太多,直接进行典型相关分析,计算量过大,为此首先分别对海温场和高度场进行主成分分析,并以 80% 的累积方差贡献率分别取了海温前 22 个主成分和高度场前 7 个主成分,以达到降维的目的. 为了表示方便,这里以  $X$  表示降维后的海温场资料阵,并以  $Y$  表示降维后的高度场资料阵,其中  $p=22, q=7, n=432$ , 两组变量可表示成向量形式:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$$

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_q)'$$

现在,就以这两组变量为基础进行典型相关的计算和分析.

## 三、典型相关分析

根据典型相关分析理论<sup>[10]</sup>,若  $p > q$ ,则在  $p+q$  个特征根中仅有  $q$  个特征值,它们分别是  $\lambda = (0.29, 0.23, 0.20, 0.17, 0.12, 0.09, 0.06)$ ,但是通过  $\alpha=0.10$  显著性检验的仅有前  $r$  个,本文  $r=6$ ,因而共得到前  $r$  对显著的典型变量  $u_i$  和  $v_i$  以及对应的典型向量  $L_i$  和  $M_i$ ,分别记为

$$u_i = L_i' X$$

$$v_i = M_i' Y \quad (i=1, 2, \dots, r)$$

### 1. 典型向量的空间结构分析

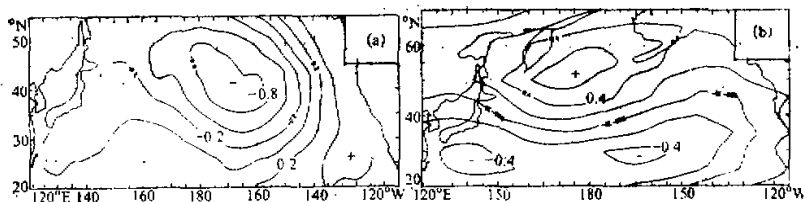


图 1 第一对典型向量空间分布图

(a) 海温, (b) 高度场.

图 1(a) 和 (b) 分别是海温场和高度场第一对典型向量的空间分布.从图 1(a) 上可以看到,北太平洋海温的主要变化中心集中在赤道以北海流区、北太平洋海流区和加利福尼亚寒流区;在图 1(b) 上, 500hPa 高度场的主要区域集中在副热带地区和阿留申低

压及其以南海区,并且主要区域的符号对应相反,它们反映了北太平洋主要海流区与大气活动中心相互作用的相关关系。这种海气相互作用空间分布的负相关是由海洋对大气的影 响所致,这种影响是通过热力学过程实现的,即主要海流区的海温升高,使其上空气旋性环流加强而反气旋性环流的发展受到抑制,就会造成高度场的负距平中心分布,同样主要海流区海温的降低会使其上空反气旋性环流加强而气旋性环流受到削弱,又会造成高度场的正距平中心分布,它们的典型相关系数为 0.54。图 2(a) 和 (b) 是海温场和高度场第二对典型向量的空间分布,在该图上可以看出,海气相互作用主要集中在四个地区:赤道以北海流区、黑潮及其延伸流区、阿拉斯加暖流区和加利福尼亚寒流区;从图 2(a) 上可以看出,在北太平洋东部的海温场上是一个正距平中心,而在图 2(b)上,对应该地区上空则有一个很强的负距平中心区域,显然,这种空间分布是由海洋影响大气而造成,即阿拉斯加暖流区海温的升高,促使北美西部上空气旋性环流异常活跃;而在另外的 3 个距平中心区域,海温与高度场正负中心符号对应一致,这说明在这些区域的海温与高度场是一种正相关的空间分布,这种分布说明在第二典型场上该地区主要是大气影响海洋的结果,这种影响是通过动力学和热力学过程完成的,即高度场处于正距平中心时,反气旋性环流增强,作用于海水表面的牵引作用加大,造成海水水平辐合增强,表层海水下翻运动加强,

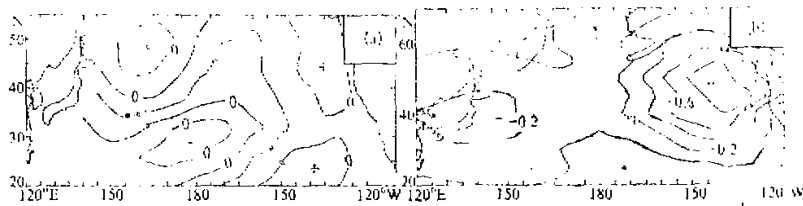


图 2 第二对典型向量空间分布图  
(a) 海温, (b) 高度场。

促使周围表层海水涌入补充,从而使该地区海温升高;反之,处于负距平中心的高度场对海洋的作用会造成海水上翻运动加强,海洋深层水涌上表面而使得该地区海温降低,这与 Namias<sup>[11]</sup> 的结论是一致的;另外,大气环流对海温的影响也可以通过调整太阳对海面辐射的强弱来实现,即高度场的正距平区,反气旋性环流强,下沉气流强盛而云量稀少,太阳对海面的辐射作用加强,海温也会相应升高,反之,情况则相反。因此,在海温与高度场正相关的空间结构下,大气是启动者,海洋则是反馈者,它们之间的典型相关系数为 0.48。上述两个相关最大的典型场反映了海气相互作用的主要特征,而其它的典型场则主要反映了相互作用的一些局地特征,因篇幅关系这里不再赘述。

## 2. 典型变量的时间变化分析

我们知道,第一对典型场的空间分布特征说明了在海气相互作用中,海洋是起主要作用的,而且在海洋与大气的总体相关中,这种作用的贡献最大,并且在第一对典型场上,无论是海温还是 500hPa 高度,都是反映海气相互作用的大尺度特征,例如反映了在厄尔尼

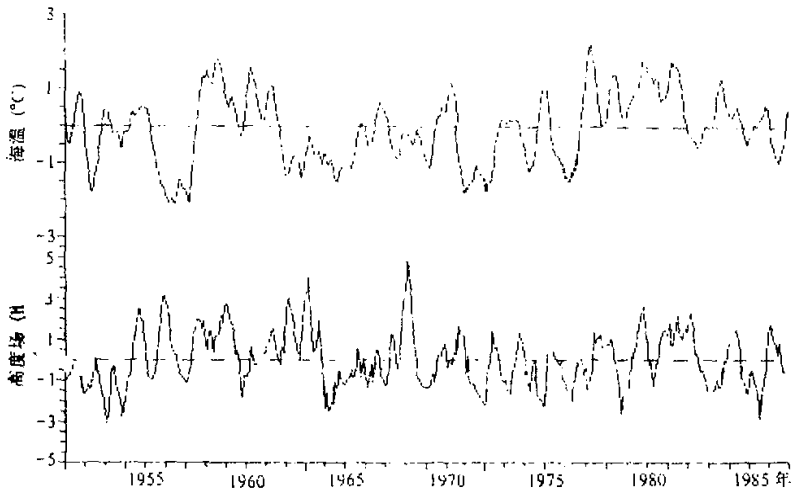


图 3 第一对典型变量的时间变化曲线  
(6 个月滑动平均)

诺事件中海洋与大气的分布特征。图 3 是海温与高度场第一对典型变量的时间变化曲线, 为了消除一些偶然性的短期振动即噪波, 以突出大尺度海气相互作用特征的变化规律, 我们采用了 6 个月的滑动平均后做出曲线。根据臧恒范等<sup>[12]</sup>的工作, 在 1951—1986 年间共有 9 次厄尔尼诺过程, 分别出现在 1951、1953、1957、1963、1965、1968—1969、1972、1976 和 1982—1983 年, 而上述这些厄尔尼诺过程可以在海温与高度场第一对典型变量的时间变化上体现出来。从图 3 可以看出, 尽管海温与高度场典型变量的时间变化周期明显不同, 但当厄尔尼诺出现时, 它们之间都有一种很好的对应关系, 并且其变化曲线的位相在此期间基本一致, 这种关系表明了对应在空间典型场上海洋对大气的影响。另外, 在 1951、1953、1957、1965、1969、1972、1976、1983 年 (1963 年稍有例外), 高度场典型变量的时间变化系数均处于波谷, 出现负值或负值较大, 而在与其对应的第一空间典型场上, 太平洋北部上空有一个正距平中心, 如此反映到原始高度场上则该地区必然会有一个较强的气旋性环流区 (阿留申低压), 根据 Rasmusson<sup>[13]</sup> 的研究和分析, 当厄尔尼诺出现时, 在太平洋北部上空确有一个强盛的低压存在和发展。这种海气相互作用的时空特征也可以在另外几对典型场上不同程度地反映出来。

#### 四、高度场预报模型的建立

##### 1. 高度场的回归模型

根据典型相关理论我们知道, 所谓前  $r$  对典型变量, 指的是两组随机变量总体相关的最高和最显著的  $r$  对变量, 并且其两两之间的相关系数  $\rho$  的平方就等于特征值  $\lambda$ , 即

$$\begin{cases} E(u_1 v_1) = \lambda_1 = \rho_1^2 \\ E(u_2 v_2) = \lambda_2 = \rho_2^2 \\ \vdots \\ E(u_r v_r) = \lambda_r = \rho_r^2 \end{cases} \quad (1)$$

$\rho_i$  为成对出现的典型变量间的相关系数,  $E$  为数学期望, (1)式可表示成矩阵形式

$$u v' = v' u = \Lambda \quad (2)$$

其中  $\Lambda$  为特征值对角阵, 而

$$\begin{cases} u = L' X \\ v = M' Y \end{cases} \quad (3)$$

且标准化的典型变量具有如下性质<sup>[10]</sup>:

$$u u' = v v' = I \quad (4)$$

其中  $I$  为单位矩阵, 且由(2)~(4)式容易得到

$$M' Y = \Lambda L' X \quad (5)$$

由于典型向量矩阵不满秩, 故有

$$Y = (M M')^{-1} M \Lambda L' X \quad (6)$$

或

$$Y = (M M')^{-1} M \Lambda u \quad (7)$$

(6)或(7)式就是高度场主成分的回归模型。由于预报因子  $X$  或  $u$  与预报量  $Y$  是一种同时的统计关系, 所以必须先求出海温典型变量未来  $n+1, n+2, \dots, n+s$  时刻的预报值  $\hat{u}_{n+1}, \hat{u}_{n+2}, \dots, \hat{u}_{n+s}$ , 然后代入(7)式中才能求得高度场主成分的预报值  $\hat{Y}_{n+1}, \hat{Y}_{n+2}, \dots, \hat{Y}_{n+s}$ , 即

$$\hat{Y}_{n+k} = (M M')^{-1} M \Lambda \hat{u}_{n+k} \quad (8)$$

其中  $k = 1, 2, \dots, s$ , 是递推预报项数。

若高度场主成分  $Y$  的特征向量为  $\Phi$ , 则高度场  $H$  的预报值为<sup>[14]</sup>

$$\hat{H}_{n+k} = \Phi \hat{Y}_{n+k} \quad (9)$$

其中  $H$  为标准化的高度场, 因而也容易得到高度距平场。

## 2. 海温典型变量的自回归模型

由(8)式知道, 要得到预报量  $\hat{Y}_{n+k}$  的值, 必然首先得到预报因子  $\hat{u}_{n+k}$  的值, 为此, 我们采用了时间序列分析中的自回归预报模型

$$\begin{cases} \hat{u}_{n+1}^{(i)} = b_1 u_n^{(i)} + b_2 u_{n-1}^{(i)} + \dots + b_p u_{n-p+1}^{(i)} \\ \hat{u}_{n+2}^{(i)} = b_1 \hat{u}_{n+1}^{(i)} + b_2 u_n^{(i)} + \dots + b_p u_{n-p+2}^{(i)} \\ \vdots \\ \hat{u}_{n+s}^{(i)} = b_1 \hat{u}_{n-1+s}^{(i)} + b_2 \hat{u}_{n-2+s}^{(i)} + \dots + b_p u_{n-p+s}^{(i)} \end{cases} \quad (10)$$

其中  $i = 1, 2, \dots, r$ , 是要进行递推预报的海温典型变量个数,  $\hat{u}$  是  $u$  的预报值,  $p$  为自回归模型所要确定的阶数,  $s$  为递推项数, 一般要求  $s \leq p$  即递推预报项数应小于自回归模型的阶数。如何确定  $p$  的最优阶数, 使得递推预报效果最佳, 本文采用了 BIC 定阶准则, 即

$$\text{BIC}(p) = N \ln \hat{\sigma}^2(p) + (p+1) \ln N \quad (11)$$

其中  $\hat{\sigma}(p) = \frac{1}{n-p-1} \sum_{i=1}^n (u_i(p) - \hat{u}_i(p))^2, p = 1, 2, \dots, L, L$  为最大后延相关长度, 通过对(11)式取最小的 BIC, 便可确定最优阶数  $p$ , 从而推出  $\hat{u}_{n+1}, \hat{u}_{n+2}, \dots, \hat{u}_{n+r}$ .

## 五、试 报 结 果

在做高度场的预报时, 利用典型相关分析得到的显著的前  $r$  对典型变量 ( $r = 6$ ), 对于其中的海温典型变量采用自回归模型(10)式进行展开, 并分别采用 BIC 准则确定了各个变量的自回归模型最优阶数  $p$ , 定阶结果分别为: 2 阶、3 阶、1 阶、2 阶、3 阶和 2 阶, 也就是说, 前 6 个海温典型变量自回归序列的时间变化只与其前最多 3 项的时间序列相关程度最好, 依此结果试着递推了 3 项, 即做了连续 3 个月海温典型变量的预报递推, 然后利用回归模型(8)和(9)式做出了北太平洋 500hPa 高度场 1987 年 1—3 月的距平预报场。图 4 和图 5 分别是 1 月份和 2 月份 500hPa 高度预报(a)和实况(b)的距平场, 通过比较预报与实况图可以看出: 1 月和 2 月的预报, 除几个非关键系统在配置上稍有误差外, 主要天气系统的预报位置基本正确, 强度略有偏低, 其结果是令人满意的, 对于高度场的形势预报也是有效的; 但在 3 月份预报和实况图的对比上(图略), 位于太平洋北部的

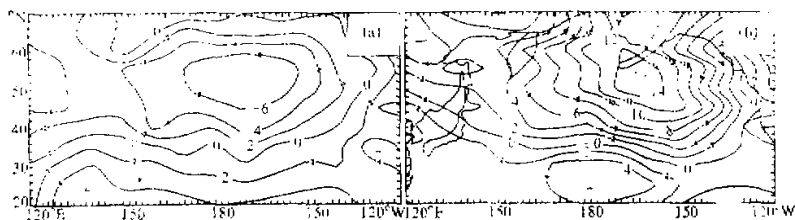


图 4 1987 年 1 月 500hPa 高度距平场  
(a) 预报, (b) 实况。

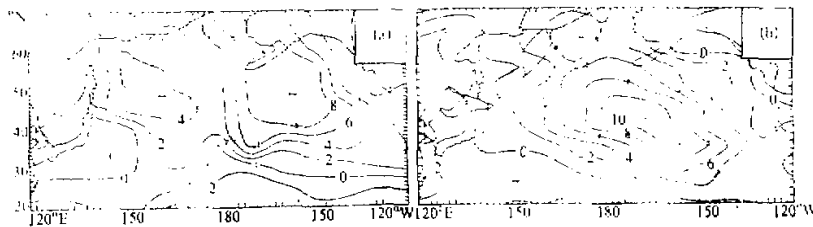


图 5 1987 年 2 月 500hPa 高度距平场  
(a) 预报, (b) 实况。

主要正距平中心和太平洋中部的主要负距平中心, 在预报的位置和强度上都有着比较明显的误差。按照天气学原理, 连续 3 个月预报误差的依次增大, 可能与天气形势演变的特点

续性有关,而3月份的误差之所以较明显,是由于3月属于季节变化的月份,在季节交替过程中,天气系统变化较快,短期小扰动比较活跃,而季节变化超前或滞后都主要地反映在季节转换这一时期,这些都为做出准确的长期预报增添了困难;另外,从统计方法的预报方程本身来看,除回归模型(8)式本身存在一定的误差之外,我们估计主要由于自回归模型(10)式的递推预报所引起,因为从定阶结果来看,6个海温典型变量的最优定阶只有2个是3阶,而另外4个变量的最优阶数是2阶或1阶,因此,6个变量均向外连续递推3项有点勉强,误差也许主要出于此。

## 六、结 语

本文采用典型相关分析方法研究了北太平洋海温与其上500hPa高度场之间海气相互作用的相关关系,并利用这种关系建立回归方程及海温典型变量的自回归模型递推预报结果对500hPa高度场进行了试报,得到了以下几点初步看法:

(1) 北太平洋海温与其上500hPa高度场之间有着很好的相关关系,其相互作用的主要区域集中在各主要洋流区及相应的大气活动中心。

(2) 北太平洋的海气相互作用主要是海洋影响大气的结果,但同时大气对海洋也有着明显的影响。

(3) 在较大的环流背景下,如厄尔尼诺出现时,海温与高度场的时间变化有着一致的对应关系,这种对应关系反映了海气相互作用的大尺度特征。

(4) 利用典型相关分析理论建立回归方程并使用自回归模型的递推预报结果对500hPa高度场进行试报,结果是可行的;需要说明的是,由于我们手中的资料所限,本文只做了1987年高度场预报的尝试,而本文所用的自回归定阶准则所定的最优定阶又较低,只能做连续3个月的预报,因此,预报工作还有待于今后进一步完善。

## 参 考 文 献

- [1] Davis R. E., 1976, Predictability of SST and SLP anomalies over the North Pacific Ocean, *J. Phy. Oceanogr.*, Vol. 6, 249—266.
- [2] Barnett T. P., 1981, Statistical prediction of north american air temperatures from Pacific predictors, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, 1021—1041.
- [3] Pan Yihang et al., 1983, Global climate variation connected with sea temperature anomalies in the eastern equatorial Pacific ocean for the 1958—1973 period, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 111, 1244—1258.
- [4] 林学椿, 1978, 北太平洋海表温度及其对东亚大气环流的影响(一)(二), 中科院大气所集刊第6号, 海气相互作用与旱涝长期预报, 科学出版社.
- [5] 解思梅等, 1984, 东亚七地区台风频数与北太平洋海温相关关系的长期变化, 海洋学报, 6卷5期, 594—606.
- [6] 史久恩等, 1983, 厄尔尼诺现象与我国夏季(6—8月)降水、气温的关系, 气象, 9[卷4期], 2—5.
- [7] 许志远等, 1982, 太平洋海温异常与黑龙江夏季低温的关系及长期天气预报, 海洋学报, 4卷2期, 169—174.
- [8] 赵汉光, 1986, 副高与海温相互作用的时空特征分析及预报, 气象, 12卷7期, 21—23.
- [9] 周家斌, 1985, 用北太平洋海温的空间分布特征预报长江中下游汛期降水, 中科院大气所集刊13号, 长期天气过程研究, 科学出版社.
- [10] Glahn H. R., 1968, Canonical correlation and its relationship to discriminant analysis and multiple regression, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 25, 25—31.
- [11] Namias J., 1969, Seasonal interactions between North Pacific Ocean and the atmosphere during 1960's, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 97, 173—192.

- [12] 臧恒范等, 1991, 1854—1987 年间的厄尔尼诺与反厄尔尼诺事件, 海洋学报, 13 卷 1 期, 26—34.
- [13] Rasmussen E. M. et al., 1983, Pacific ocean event of 1983, *Weatherwise*, August, 1983, 167—175.
- [14] 胡基福等, 1989, 应用自回归递推方法预报 500 百帕候高度场, 海洋学报, 11 卷 5 期, 554—561.

## Canonical Correlation between the Surface Temperature of the North Pacific and 500hPa Altitude and A Test of Predicting the Altitude-Field

Jiang Hongchuan

(Marine Forecasting Centre of Qingdao, 266033)

Hu Jifu

(Ocean University of Qingdao)

### Abstract

Correlation between monthly-mean SST of the North Pacific and 500hPa altitude has been calculated and discussed using canonical correlation analysis techniques. The results illustrate that high correlation exists between nonseasonal SST and 500hPa altitude and these correlation areas are mainly in the areas where the important ocean current and the atmospheric circulation are active. Based on this correlation, a prediction model of monthly-mean 500hPa altitude departure-field has been set up by means of a regression and autoregression regression model. A test of predicting the altitude-field is carried out.

**Key words:** North Pacific; Ocean surface temperature; 500hPa; Canonical correlation analysis; Prediction.