

短期气候预测的多时间序列相空间相似模型

尤卫红 李 敏 段 旭

(云南省气象台, 昆明 650034)

摘要: 为了充分利用对气候系统进行定时观测而积累的关于它过去和现在情况的大量数据, 本文提出了短期气候预测的一种多时间序列相空间相似模型, 并从与云南气候变化有某种物理关系的 20 多个时间序列出发, 建立了一个云南短期气候变化的年度预测模型。模型对云南 80 个气象观测站点 1991~1998 年的 5 月雨量距平和 5 月气温距平预测检验的距平同号率分别达到 $424/640 = 66.3\%$ 和 $426/640 = 66.6\%$; 对云南 1990~1997 年的 6~8 月雨量距平、6~8 月气温距平、年雨量距平和年气温距平预测检验的距平同号率则可分别达到 $404/640 = 63.1\%$ 、 $463/640 = 72.3\%$ 、 $456/640 = 71.3\%$ 和 $455/640 = 71.1\%$ 。

关键词: 年度预测; 多时间序列; 相空间相似模型; 短期气候预测

中图分类号: P456.8 **文献标识码:** A

气候系统是一耗散的、具有多个不稳定源的高阶非线性系统, 其复杂的内部相互作用和自由变化导致了气候的可变性和复杂性, 也导致了气候变化的多尺度特性^[1~3]。由于目前我们对岩石圈、水圈、冰雪圈、生物圈(包括人类活动)的了解甚少, 所积累的资料精度和完备性十分不足, 因此就目前人类对气候系统的了解而言, 要建立起精确的反映气候系统变化的非线性动力学方程组是不可能的^[4], 这就给气候变化预测的理论动力学研究带来了极大的困难。

就目前来说, 我们赖以进行短期气候预测的根据有两个: 一是对气候变化进行了严密的监视, 利用各种仪器在全球范围进行了定时观测, 从而积累了关于它过去和现在情况的大量数据; 二是气候系统为一物理系统, 我们通过物理学和数学的研究, 获知了一些气候变化所遵循的物理规律, 并用数学语言加以表示。但在作实际的短期气候预测时, 由于未能使这两方面有机地结合起来加以充分利用, 使实际短期气候预测水平受到限制^[5,6]。

本文从多个时间序列出发, 建立了短期气候预测的多时间序列相空间相似模型; 然后用该模型给出了云南短期气候变化的一种年度预测模型; 并分别对云南 80 个气象观测站点的 5 月、6~8 月、年雨量和气温进行了年度时间尺度的预测试验和检验。

1 短期气候预测的多时间序列相空间相似模型

设年度气候预测对象为某区域内 p 个气象观测站点的某气候要素的距平值, 记为

收稿日期: 1998-12-20; 修订日期: 1999-04-15

基金项目: 国家“九五”重中之重科技攻关项目云南专题(969080508)和西南专题(969080505)资助

作者简介: 尤卫红(1962-), 男, 博士, 云南省气象台高级工程师

$$f(r, y_n + 1) \quad \{r = 1, \dots, p\}。 \quad (1)$$

其中 y_n 表示为制作预测的时间, $y_n + 1$ 表示以次年作为预测对象年。这 p 个气象观测站点的该气候要素的历史实况距平值时间序列, 我们记为

$$f(r, i) \quad \{r = 1, \dots, p; i = y_1, \dots, y_n\}。 \quad (2)$$

其中 i 表示历史资料为从 y_1 年开始到 y_n 年止。

再设, 与这 p 个预测对象的年际变化有某种物理关系的 q 个物理特征量的年时间序列为

$$x(k, i) \quad \{k = 1, \dots, q; i = y_1, \dots, y_n\}。 \quad (3)$$

其中 i 表示各种物理特征量的年时间序列资料也是从 y_1 年开始到预测时间 y_n 年为止。

对每一物理特征量的年时间序列 $x(k, i) \{k = 1, \dots, q; i = y_1, \dots, y_n\}$, 按如下方式排列, 构成 m 维相空间中的向量集

$$\begin{bmatrix} x(k, y_n) & x(k, y_n - 1) & \dots & x(k, y_1 + m - 1) \\ x(k, y_n - 1) & x(k, (y_n - 1) - 1) & \dots & x(k, (y_1 + m - 1) - 1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x(k, y_n - m + 1) & x(k, (y_n - 1) - m + 1) & \dots & x(k, (y_1 + m - 1) - m + 1) \\ X(k, y_n) & X(k, y_n - 1) & \dots & X(k, y_1 + m - 1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 $X(k, i) \{k = 1, \dots, q; i = y_n, \dots, y_1 + m - 1\}$ 为第 k 个年时间序列构成的 m 维相空间里的一个向量, 其 m 个坐标分量为

$$x(k, i), x(k, i - 1), \dots, x(k, i - (m - 1))。 \quad (5)$$

这样, 我们就得到了由 q 个物理特征量的年时间序列构成的 q 个相空间向量集 $X(k, i) \{k = 1, \dots, q; i = y_n, \dots, y_1 + m - 1\}$ 。文献[7]中已详细论述了利用资料重建 m 维相空间的物理意义, 这里不再重述。(4) 式构成的相空间向量的演变特征和规律不仅从多方面反映了气候系统的演变特征和规律, 也在一定程度上反映出了气候系统的高阶非线性特性及其复杂性。问题是在作实际的短期气候预测时, 如何使这 q 个相空间向量的演变特征和规律都能在我们的短期气候预测模型中反映出来。由于 q 个物理特征量的年时间序列所反映的内容、变化的振幅以及量纲等均各不相同, 为了使由它们构成的 q 个物理相空间的向量演变特征和规律在短期气候预测模型中表现出来, 作为一种试验, 对每一个物理特征量的年时间序列, 通过其构成的相空间引入一个无量纲的相空间向量相似排序值时间序列, 记为

$$s(k, i) \quad \{k = 1, \dots, q; i = y_n - 1, \dots, y_1 + m - 1\}。 \quad (6)$$

其引入的过程为: 考虑到预测对象为 $y_n + 1$ 年, 因此在向量集 $\{X(k, i)\}$ 中, 设参考态为 $X(k, y_n)$, $\{X(k, i)\}$ 中与 $X(k, y_n)$ 最邻近的态为 $X(k, h_1)$, 则 $X(k, h_1)$ 与 $X(k, y_n)$ 的关系为

$$\begin{aligned} \|X(k, y_n) - X(k, h_1)\| &= \min \|X(k, y_n) - X(k, i)\| \\ i &= y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1。 \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $\|X(k, y_n) - X(k, i)\|$ 表示参考态 $X(k, y_n)$ 与态 $X(k, i)$ 在 m 维相空间中的范数, 其算法类似于欧氏距离。这时取

$$s(k, h_1) = 1。 \quad (8)$$

再设除 $X(k, h_1)$ 外, $\{X(k, i)\}$ 中与 $X(k, y_n)$ 最邻近的态为 $X(k, h_2)$, 则 $X(k, h_2)$ 与 $X(k, y_n)$ 的关系为

$$\begin{aligned} \|X(k, y_n) - X(k, h_2)\| &= \min \|X(k, y_n) - X(k, i)\| \\ i &= y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1; \quad X(k, i) \neq X(k, h_1)。 \end{aligned} \quad (9)$$

这时取

$$s(k, h_2) = 2. \quad (10)$$

如此一直进行下去, 即可得到由向量集 $\{X(k, i)\}$ 与参考态 $X(k, y_n)$ 的相似排序值构成的时间序列 $s(k, i) \quad \{k = 1, \dots, q; i = y_n - 1, \dots, y_1 + m - 1\}$ 。

显然, 通过这种引入, 以预测对象的参考态 $X(k, y_n)$ 为核心, 就可以把各物理特征量的相空间向量演变特征和规律用一个无量纲的相空间向量相似排序值的时间序列 $s(k, i)$ 反映出来, 用它可以很方便地建立短期气候预测的多时间序列相空间相似模型。将时间序列 $s(k, i)$ 对 k 进行求和

$$S(i) = \sum_{k=1}^q s(k, i) \quad \{i = y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1\}, \quad (11)$$

$S(i)$ 在某种程度上综合反映了各物理特征量的相空间向量演变特征和规律。为了得出具体的短期气候预测模型, 设时间序列 $S(i) \quad \{i = y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1\}$ 中, 数值最小的前 5 个数据分别为 $S(g_1), S(g_2), \dots, S(g_5)$, 即满足

$$S(g_1) = \min \{S(i)\} \quad \{i = y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1\}; \quad (12)$$

$$S(g_2) = \min \{S(i)\} \quad \{i = y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1\} \quad i \neq g_1; \quad (13)$$

$$S(g_3) = \min \{S(i)\} \quad \{i = y_n - 1, y_n - 2, \dots, y_1 + m - 1\} \quad i \neq g_1, g_2; \quad (14)$$

.....

等。显然, $S(g_1), S(g_2), \dots, S(g_5)$ 给出了多时间序列构成的相空间向量与其参考态的相似程度, 集中反映了预测对象的历史相似情况。于是, 可以分别得到 p 个气象观测站点的预测对象的 5 个历史实况距平值数据

$$f(r, g_1 + 1), f(r, g_2 + 1), \dots, f(r, g_5 + 1) \quad r = 1, 2, \dots, p. \quad (15)$$

对这 5 个历史实况距平值数据作集成处理。即令

$$z(r, 1) = \min \{f(r, g_j + 1) \quad \{j = 1, 2, \dots, 5\}, \quad (16)$$

$$z(r, 2) = \min \{f(r, g_j + 1) \quad \{j = 1, 2, \dots, 5\} \quad z(r, 2) \neq z(r, 1), \quad (17)$$

$$z(r, 3) = \min \{f(r, g_j + 1) \quad \{j = 1, 2, \dots, 5\} \quad z(r, 3) \neq z(r, 2), z(r, 1), \quad (18)$$

$$z(r, 4) = \min \{f(r, g_j + 1) \quad \{j = 1, 2, \dots, 5\} \quad z(r, 4) \neq z(r, 3), z(r, 2), z(r, 1), \quad (19)$$

$$z(r, 5) = \max \{f(r, g_j + 1) \quad \{j = 1, 2, \dots, 5\}. \quad (20)$$

显然 $z(r, j) \quad \{r = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, 5\}$ 满足关系

$$z(r, 1) \leq z(r, 2) \leq z(r, 3) \leq z(r, 4) \leq z(r, 5). \quad (21)$$

我们假定: 如果 $z(r, 2) \geq 0$, 那么预测对象的集成结果为

$$f(r, y_n + 1) = \frac{1}{4} \sum_{j=2}^5 z(r, j); \quad (22)$$

如果 $z(r, 4) \leq 0$, 那么预测对象的集成结果为

$$f(r, y_n + 1) = \frac{1}{4} \sum_{j=4}^5 z(r, j); \quad (23)$$

如果 $z(r, 2) < 0$ 而 $z(r, 4) > 0$, 那么预测对象的集成结果则为

$$f(r, y_n + 1) = z(r, 3). \quad (24)$$

到此, 就建立起了短期气候预测的一种多时间序列相空间相似模型。下面将在云南短期气候变化的年度预测模型中给出它的具体应用。

2 云南短期气候变化的年度预测模型

将云南分为 5 个区域, 每个区域 16 个气象观测站点, 共计 $p = 80$ 个气象观测站点^[8]。以此

80 个站点的 5 月、6 ~ 8 月、年雨量和气温分别作为年时间尺度的短期气候预测对象。

选用 $q = 22$ 个年时间序列资料来建立云南短期气候变化的年度预测模型。

- $k = 01$: 国家气候中心发布的气候监测公报上的黑潮区(A 区)的海表水温的年距平值时间序列;
- $k = 02$: 国家气候中心发布的气候监测公报上的赤道中太平洋区(W 区)的海表水温的年距平值时间序列;
- $k = 03$: 国家气候中心发布的气候监测公报上的印度洋区(B 区)的海表水温的年距平值时间序列;
- $k = 04$: 国家气候中心发布的气候监测公报上的赤道东太平洋区(C 区)的海表水温的年距平值时间序列;
- $k = 05$: 西太平洋副高面积指数的年时间序列;
- $k = 06$: 西太平洋副高强度指数的年时间序列;
- $k = 07$: 西太平洋副高脊线位置的年时间序列;
- $k = 08$: 亚洲区极涡面积指数的年时间序列;
- $k = 09$: 亚洲区极涡强度指数的年时间序列;
- $k = 10$: 亚洲区纬向环流指数的年时间序列;
- $k = 11$: 亚洲区经向环流指数的年时间序列;
- $k = 12$: 南方涛动指数的年时间序列;
- $k = 13$: 滇东北区域 16 个气象观测站点平均气温的年时间序列;
- $k = 14$: 滇东南区域 16 个气象观测站点平均气温的年时间序列;
- $k = 15$: 滇中区域 16 个气象观测站点平均气温的年时间序列;
- $k = 16$: 滇西北区域 16 个气象观测站点平均气温的年时间序列;
- $k = 17$: 滇西南区域 16 个气象观测站点平均气温的年时间序列;
- $k = 18$: 滇东北区域 16 个气象观测站点平均降水量的年时间序列;
- $k = 19$: 滇东南区域 16 个气象观测站点平均降水量的年时间序列;
- $k = 20$: 滇中区域 16 个气象观测站点平均降水量的年时间序列;
- $k = 21$: 滇西北区域 16 个气象观测站点平均降水量的年时间序列;
- $k = 22$: 滇西南区域 16 个气象观测站点平均降水量的年时间序列。

将上述各预测对象的历史实况距平值时间序列和 22 个物理特征量的年时间序列代入短期气候预测模型, 并取 $m = 5$, 即得到了具体的云南短期气候变化的年度预测模型。考虑云南省气象台的实际情况来, 其中的资料长度取为从 $y_1 = 1961$ 年开始到 y_n 年为止。下面给出预测试验和检验结果。

3 云南短期气候预测的试验和检验

对云南5月雨量距平和气温距平取 $y_n = 1990 \sim 1997$ 年, 即对 1991 ~ 1998 年的云南 5 月雨量距平和气温距平进行预测试验和检验。对云南 6 ~ 8 月、年雨量距平和气温距平, 分别取 $y_n = 1989 \sim 1996$ 年, 即分别对 1990 ~ 1997 年进行预测试验和检验。表1和表2给出了预测试验的距平同号率检验结果。

从表1和表2中可以看出, 云南短期气候变化的年度预测模型对云南 1991 ~ 1998 年的 5 月雨量距平和 5 月气温距平预测检验的距平同号率可分别达到 $424/640 = 66.3\%$ 和 $426/640 = 66.$

6%,对云南1990~1997年的6~8月雨量距平、6~8月气温距平、年雨量距平和年气温距平预测检验的距平同号率则可分别达到 $404/640=63.1\%$ 、 $463/640=72.3\%$ 、 $456/640=71.3$ 和 $455/640=71.1\%$ 。

表1 云南5月、6~8月和年雨量距平预测的距平同号率

Table 1 The accuracy of anomaly sign of precipitation forecasts of May, June ~ August, and the whole year for Yunnan Province %			
年份	5月雨量距平	6~8月雨量距平	年雨量距平
1990		48/80= 60.0	47/80= 58.8
1991	56/80= 70.0	47/80= 58.8	47/80= 58.8
1992	52/80= 65.0	58/80= 72.5	69/80= 86.3
1993	45/80= 56.3	62/80= 77.5	64/80= 80.0
1994	50/80= 62.5	43/80= 53.8	47/80= 58.8
1995	49/80= 61.3	47/80= 58.8	53/80= 66.3
1996	44/80= 55.0	60/80= 75.0	63/80= 78.8
1997	65/80= 81.3	39/80= 48.8	66/80= 82.5
1998	63/80= 78.8		
合计	424/640= 66.3	404/640= 63.1	456/640= 71.3

表2 云南5月、6~8月和年气温距平预测的距平同号率

Table 2 The accuracy of anomaly sign of temperature forecasts of May, June ~ August, and the whole year for Yunnan Province %			
年份	5月气温距平	6~8月气温距平	年气温距平
1990		46/80= 57.5	72/80= 90.0
1991	29/80= 36.3	72/80= 90.0	62/80= 77.5
1992	57/80= 71.3	73/80= 91.3	24/80= 30.0
1993	69/80= 86.3	68/80= 85.0	62/80= 77.5
1994	50/80= 62.5	46/80= 57.5	27/80= 33.8
1995	45/80= 56.3	63/80= 78.8	67/80= 83.8
1996	65/80= 81.3	51/80= 63.8	70/80= 87.5
1997	50/80= 62.5	44/80= 55.0	71/80= 88.8
1998	61/80= 76.3		
合计	426/640= 66.6	463/640= 72.3	455/640= 71.1

4 结 论

根据对气候系统进行定时观测而积累的关于它过去和现在情况的大量数据,及气候变化所遵循的物理规律,并将这两个方面有机地结合起来,提出了短期气候变化预测的一种多时间序列相空间相似模型。从4个区域的海表水温、西太平洋副高面积指数、西太平洋副高强度指数、西太平洋副高脊线位置、亚洲区极涡面积指数、亚洲区极涡强度指数、亚洲区纬向环流指数、亚洲区经向环流指数、南方涛动指数、云南5个区域的气温和降水等20多个年变化的时间序列出发,建立了云南短期气候变化的年度预测模型。在年度时间尺度的预测上,该模型对云南80个气象观测站点1991~1998年的5月雨量距平和气温距平预测检验的距平同号率可分别达

到 $424/640=66.3\%$ 和 $426/640=66.6\%$;对云南1990~1997年的6~8月雨量距平、6~8月气温距平、年雨量距平和年气温距平预测检验的距平同号率则可分别达到 $404/640=63.1\%$ 、 $463/640=72.3\%$ 、 $456/640=71.3\%$ 和 $455/640=71.1\%$ 。

参 考 文 献

- [1] 林振山, 杨修群. 理论气候学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1996
- [2] 林振山. 气候建模、诊断和预测的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996
- [3] 尤卫红. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998
- [4] 林振山, 邓自旺, 尤卫红. 理论气候学中的几个基本问题[J]. 热带气象学报, 1995, 11(2): 187~192
- [5] 胡增臻, 黄荣辉. 长期天气预报业务和方法研究的最新进展[J]. 气象科技, 1993, (1): 1~10
- [6] 尤卫红. 对云南省气象台近年来长期天气预报的检验[J]. 云南气象, 1992, (2): 30~31
- [7] 林振山. 长期预报的相空间理论和模式[M]. 北京: 气象出版社, 1993
- [8] 尤卫红, 段 旭, 杞明辉. 云南月气候要素场预测的业务技术研究[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 91~96

A PHASE SPACE ANALOGY MODEL OF SHORT-RANGE CLIMATIC FORECAST BASED ON MULTITIME SERIES

YOU Wei-hong LI M in DUAN Xu

(Meteorological Observatory of Yunan Province, Kunming 650034)

Abstract: In order to make full use of the accumulative huge climatic data, this paper presents a phase space analogy model of short-range climatic forecast with multitime series. By using over 20 time series which are physically related with the climate changes of Yunnan Province, an yearly short-range climate forecast model for Yunnan Province is established. The verification of precipitation and temperature forecasts for Yunnan Province shows that the accuracy of anomaly sign of model forecasts of the May precipitation and temperature from 1991~1998, and the June~August and yearly precipitation and temperature from 1990~1997 is 66.3%, 66.6%, and 63.1%, 72.3%, 71.3%, 71.1% respectively.

Keywords: yearly forecast; multitime series; phase space analogy model; short-range climate forecast