

## 百余年全球海温的状态跃变分析

周亚军<sup>1)</sup> 朱 姝<sup>2)</sup>

(1) 兰州干旱气象研究所, 2) 兰州中心气象台, 兰州 730020)

**摘要** 应用刘桂馥(1995)<sup>[1]</sup>提出的递归相似(又称递归分解)方法,考查了百余年(1856~1991年)南、北半球太平洋、大西洋和印度洋海温季距平的状态跃变。发现在适当分辨率下,海温跃变具有准 10 年周期特性。

**关键词** 递归相似, 状态跃变, 海温

**分类号** P43

气候突变现象及理论分析是近代气候学一个新兴的研究领域。早在 50 年代,叶笃正等<sup>[2]</sup>就注意到 6 月和 10 月由于大气环流结构的调整而发生的突变现象。进入 80 年代以来,全球和北半球的气温出现了本世纪以来最明显的上升趋势(并不排除局部区域可能存在的与此趋势不相一致的情况)。本文关心的是全球气候变化是否存在阶段性变化或突变。由于所用资料及分析手段的不同,不同人所得结论也有所差异。比如,Goossens 等<sup>[3]</sup>对近百年(1891~1976 年) 20°N 气温作了 Mann-Kendall 法(以下简称 M-K 法)分析。发现本世纪初及 20 年代是个转折时期。Diaz 等<sup>[4]</sup>注意到美国气温在过去的约 100 年中经历了两次突变(1921 年和 1950 年),对冬季温度来讲,西部变化正好与东部相反。Yamamoto 等<sup>[5]</sup>用均值差异法对 60°W 处的 4 个格点(45°N、50°N、60°N 和 70°N)温度距平序列进行分析,发现其突变点在 1950 年左右,并且认为这与 40 年代后期全球的几个火山爆发有关。严中伟等<sup>[6]</sup>研究了北半球夏季降水和温度变化,发现 60 年代夏季存在着气候跃变。符淙斌等<sup>[7]</sup>用 M-K 法研究了北半球气温,发现北半球 20 年代的增暖是一种突变,它的起始时段发生在 1921 年。魏凤英等<sup>[8]</sup>用均值差异法检验了中国、北半球和全球气温历史序列的突变现象,发现中国气温序列的突变点为 1949~1950 年间;北半球气温序列的突变点是 1893~1894 年和 1925~1926 年;全球的是 1895~1896 年和 1925~1926 年。由此可见,资料不同,方法不同,所得结果不同。即使资料相同,方法不同,所得结果亦会不同。不管这些方法如何变化,其出发点均是建立在概率统计意义上的。

递归相似(或递归分解)方法是立足于动力学而考虑的。对气象要素,若未知其演化模型(即控制方程)时,我们只能从多年资料入手,以期发现某些演化的宏观规律。如同气象中沿用的统计手段一样,用递归方法得到的结果仍具有人为性,但这毕竟是一种独立于统计概念的新手段,值得实验和深入研究。

### 1 递归方法

该方法背景直观、计算方便,特别可用于多时刻的要素场研究(传统的平稳时间序列方法

就很难处理多分量的向量列), 而且力图揭示状态的跃变, 而不是要素量值的变化。

例如, 向量  $V_1 = (1, 1)$ ,  $V_2 = (100, 100)$ ,  $V_3 = (1, -1)$ 。  $V_2$  和  $V_3$  可表示为  $V_2 = 100 V_1 + V_3$ ,  $V_2 = (0, 0)$ ;  $V_3 = 0 V_1 + V_3$ ,  $V_3 = V_3$ 。从  $V_1$  的角度观察  $V_2, V_3$ , 只有  $V_3$  发生了完全的状态跃变。

为了更直观地了解状态跃变, 给出 3 条线段(如图 1)分别是  $ABC$ 、 $ABD$  和  $ABE$ 。其端点坐标为  $A(1, 1)$ ,  $B(5, 5)$ ,  $C(9, 5)$ ,  $D(9, 1)$ ,  $E(5, 1)$ 。在线段  $AB$ 、 $BC$ 、 $BD$  和  $BE$  中分别取等分的 3 个点, 因此, 线段  $ABC$ 、 $ABD$  和  $ABE$  分别有 9 个点。下面将对此作递归分解。

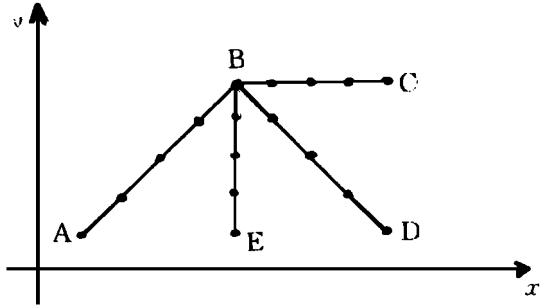


图 1 3 条不同线段的示意图

Fig. 1 Schematic of three line segments

在水平半径为 3 时, 线段  $ABC$ 、 $ABD$  和  $ABE$  的递归坐标和跃变如表 1、表 2 和表 3 所示。

显然, 对线段  $AB$  来讲,  $V_4$  与  $V_1$  方向一致,  $V_5$  与  $V_2$  方向一致, 其量值为  $V_4$  和  $V_5$ , 即  $\lambda_1$  均为 1.41。对线段  $BC$ 、 $BD$  和  $BE$  来讲,  $V_6$  与  $V_3, V_4$  和  $V_5$  的方向都不一致, 或者说  $V_6$  中的部分信息是它们所不能表达的, 因此, 这一点必然会产生状态跃变。因  $AB \perp BD$ , 所以对线段  $ABD$  中的第 6 点而言,  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0, \rho = 1$ ;  $AB$  与  $BC$  成  $135^\circ$  夹角, 所以  $V_6$  中的  $\sqrt{2}/2 (= 0.71)$  能被  $V_3$  描述, 即  $\lambda_1 = 0.71$ , 另一部分  $(\sqrt{2}/2)$  是  $V_3$  不能描述的, 所以  $\rho = 0.71$ ;  $AB$  与  $BE$  成  $45^\circ$  夹角, 只是  $\lambda_1 = -0.71$ , 跃变则与前者相同, 均是 0.71。对  $V_7, V_8$  和  $V_9$  来讲, 它们均能被各自身前的 3 个向量完全描述, 所以  $\rho$  全为零。由此可见, “拐点”可能会产生状态跃变。

表 1 线段  $ABC$  在水平半径为 3 时的递归坐标( $\lambda$ )和跃变( $\rho$ )

Table 1 The recursive coordinate  $\lambda$  and jump  $\rho$  at the horizontal radius = 3 for the segment  $ABC$

	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\rho$
$V_4$	1.41	0	0	0
$V_5$	1.41	0	0	0
$V_6$	0.71	0	0	0.71
$V_7$	0.71	0	0.71	0
$V_8$	0.71	0.71	0	0
$V_9$	1	0	0	0

表 2 线段  $ABD$  在水平半径为 3 时的递归坐标( $\lambda$ )和跃变( $\rho$ )

Table 2 The recursive coordinate  $\lambda$  and jump  $\rho$  at the horizontal radius = 3 for the segment  $ABD$

	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\rho$
$V_4$	1.41	0	0	0
$V_5$	1.41	0	0	0
$V_6$	0	0	0	1
$V_7$	0	0	1.41	0
$V_8$	0	1.41	0	0
$V_9$	1.41	0	0	0

表 3 线段  $ABE$  在水平半径为 3 时的递归坐标( $\lambda$ ) 和跃变( $\rho$ )Table 3 The recursive coordinate  $\lambda$  and jump  $\rho$  at the horizontal radius = 3 for the segment  $ABE$ 

	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\rho$
$V_4$	1.41	0	0	0
$V_5$	1.41	0	0	0
$V_6$	-0.71	0	0	0.71
$V_7$	-0.71	0	0.71	0
$V_8$	-0.71	0.71	0	0
$V_9$	1	0	0	0

向量列的递归分解方法对向量列,

$$(\Phi): \dots, \Phi_{-R}, \dots, \Phi_{-1}, \Phi, \Phi_{+1}, \dots \quad (1)$$

取约定的整数  $R$  为分析水平半径, 考查  $\Phi$  被它身前的  $R$  个向量  $\{\Phi_{-R}, \dots, \Phi_{-1}\}$  的表示。

为书写方便, 记

$$\Phi = V, \quad \Phi_{-k} = V_k \quad k = 1, 2, \dots, R$$

递归分解在于确定下式

$$V = \lambda_1 V_1 + \dots + \lambda_R V_R + \bar{V} \quad (2)$$

其中  $V$  与  $\bar{V}$  正交,  $\bar{V}$  称递归补。

这里有一个显然的数值问题, 即当  $V_1 \dots V_R$  线性相关或近似相关时, 数值  $\lambda_k$  不能唯一确定<sup>[1]</sup>。因本文旨在作状态跃变的考查, 故可不必理会这一事实。

再就时间序列  $(\Phi)$  描述其分解的意义。据文献 [1], 对  $\Phi$  的分解产生的递归补  $\bar{\Phi}$  (即  $\bar{V}$ ), 被称为在水平半径  $R$  之下  $\Phi$  产生的“芽”。该芽是一个独立于  $\{\Phi_{-R}, \dots, \Phi_{-1}\}$  的状态。为度量芽的大小, 称

$$\frac{\bar{V}}{V} = \frac{\bar{\Phi}}{\Phi} = \beta, \quad 0 < \beta < 1$$

为  $\Phi$  在  $R$  水平下的状态跃度。

粗略地讲, 在适当限定下(2)式中系数  $\lambda_k$  可以唯一确定(共有 3 种形式, 本文选用自然正交法), 称  $\lambda_k (k=1, 2, \dots, R)$  为  $\Phi$  的递归坐标

$$\Lambda_j = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_R) \quad (3)$$

称为  $\Phi$  的递归向量。由(1)式可产生一个递归向量列和芽列(即  $\bar{\Phi}$  生成的时间序列), 这两个向量列之和与原始序列(1)式等价, 对它们的研究有极大的潜在意义。在具体计算中, 也许会出现某些向量重合的现象。为此, 必须对重合向量进行剔除。给定判别标准  $\epsilon$ , 向量  $w$  为第  $s+1$  向量垂直于前  $s$  个正交基的分量。若  $w$  的内积

$$(w, w) > \epsilon \quad (4)$$

则第  $s+1$  向量将被选中, 否则剔除。

## 2 递归分解法与概率统计法的区别

按文献 [1] 本意, 递归分解是一种专门研究离散数据动力学规律的模型, 它不依赖统计概念, 也不依赖对象的任何先验理论模型, 它完全依赖自身数据的演变。

对概率统计法来讲, 如回归分析和主成分分析等, 它们均是建立在统计意义之上, 即在研究某一时间序列时, 必须先计算出该序列在整个时间域上的统计特征, 然后再用此特征进行各种分析, 经此处理后, 个别点上的鲜明个性必然受到改变, 这是统计法的特征。而递归分解法仅研究当前时刻之前的数个状态, 当前状态的确定与身后的现象不存在任何联系。从所要解决的问题来讲, 递归分解可以分辨出“芽”的产生, 这恰好是导致状态变异的根本所在, 而概率统计法对此却无能为力, 它仅能在量值大小上进行判断。因此, 递归分解与概率统计法有质的区别, 两者的计算结果也无可比性。

### 3 递归分解计算结果

由于递归分解所需资料是向量型的, 故选用了南北半球太平洋、大西洋和印度洋海温季距平资料, 年代为 1856~1991 年, 共 544 组样本, 以期了解百余年来全球海温的状态跃变。

适当调整  $\epsilon$  值, 便可得感兴趣的数年状态跃变。图 2 是  $R=6, 7, 9$  和  $20$  的跃变图。如图所示, 大多数跃变主要对应的年代分别为 1863、1874、1883、1892、1900、1910、1922、1932、1950、1960、1971、1982 和 1990 年。除 40 年代外, 其余跃变出现的年代间隔均在 8~12 年, 因此, 跃变具有准 10 年周期的特征。

为何随着  $R$  的增大,  $\epsilon$  要相应放大? 就递归分解理论来讲, 在相同分辨率( $\epsilon$ )下, 若  $R$  增大, 就意味着前期信息可以越来越多地描述当前状态, 即跃变会越来越小, 实践证明也是如此(图略)。当  $\epsilon$  随  $R$  的增大而增大时, 在  $\epsilon$  较小时不能出现跃变, 但在较大的  $\epsilon$  时就可以。因此, 随着  $R$  的增大, 为了得到感兴趣的信息,  $\epsilon$  也必然会变大。

### 4 小结

递归分解是研究离散数据动力学规律的方法, 它不是统计工具。该理论的中心思想是用前  $R$  个向量的线性组合表达当前向量, 不能表达的部分称为递归补, 并由此产生跃度(状态变异)。根据本文的工作发现在适当分辨率下, 状态跃变具有准 10 年周期。

另外, 我们对全球海温作的奇异谱分析(Singular spectrum analysis)(图略), 也发现海温具有非常明显的准 10 年周期振荡。从分析手段来讲, 递归分解为动力学方法, 奇异谱分析属统计法, 两者计算结果似不可相提并论。但是否可以这样认为, 正因为有了部分海域海温准 10 年的状态变异, 或者说“芽”值的出现, 才导致了全球海温的准 10 年波动, 这还有待

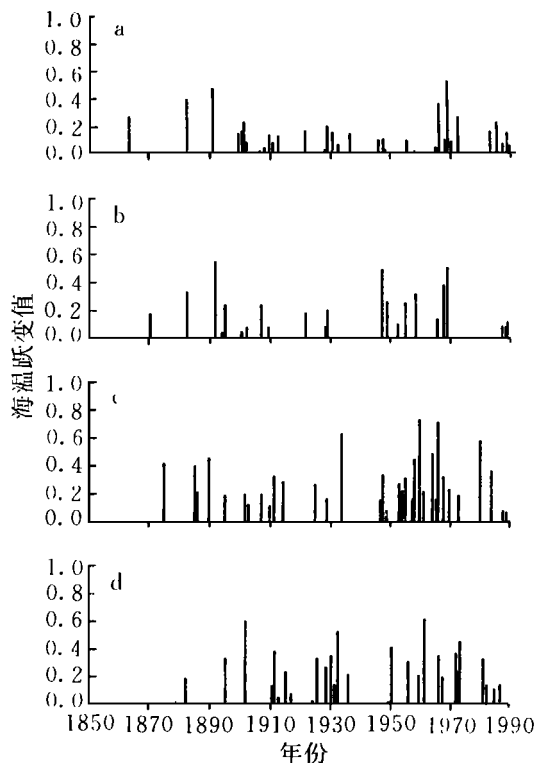


图 2 1856~1990 年全球海温状态跃变

a.  $R=6, \epsilon=0.0002$ ; b.  $R=7, \epsilon=0.0016$ ;  
c.  $R=9, \epsilon=0.01$ ; d.  $R=20, \epsilon=0.04$

Fig. 2 Global SST state jump in 1856~1990 with the parameter values given in a) ~ d)

更进一步研究。

**致谢** 递归相似理论为刘桂馥(1995)先生首创。刘先生认真细致地审阅了全文,提出了宝贵的意见,并对部分内容作了修改。在此,我们谨表衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 刘桂馥. 递归相似. 南京气象学院学报, 1995, 18(2): 166 ~ 171
- 2 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在 6 月和 10 月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, 29(3): 249 ~ 263
- 3 Goossens C, Berger A. *Abrupt climatic change*. New York: D Reidel Pub Company, 1985. 31 ~ 45
- 4 Diaz H F, Quayle R G. *The climate of the United States since 1885: Spatial and temporal change*. *Mon Wea Rev*, 1980, 108(3): 249 ~ 266
- 5 Yamamoto R, Iwashima T, Sange N K. *An analysis of climatic jump*. *J Meteor Soc Japan*, 1986, 64(2): 273 ~ 281
- 6 严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变. 降水和温度变化. 中国科学(B 辑), 1990, 41(1): 97 ~ 103
- 7 符淙斌, 王 强. 气候突变的定义和检测方法. 大气科学, 1992, 16(4): 482 ~ 493
- 8 魏凤英, 曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究. 大气科学, 1995, 19(2): 140 ~ 148

## ANALYSIS OF STATE JUMP OF GLOBAL SST IN 1856 ~ 1991

*Zhou Yajun*

(Lanzhou Institute of Drought Meteorology, Lanzhou 730020)

*Zhu Shu*

(Lanzhou Weather Center, Lanzhou 730020)

**Abstract** In terms of the recursive similarity scheme proposed by Liu (1995), study was performed of the state jump of SSTA over the Pacific, Atlantic and Indian Ocean on a seasonal basis over the period 1856 ~ 1991. Results show that such jump has a quasi-10-year period if the resolution used is appropriate.

**Keywords** recursive similarity, state jump, SST