

气候变量时间序列的尺度分解的讨论^{*}

简茂球

(中山大学季风与环境研究中心 // 大气科学系, 广东 广州 510275)

摘要: 从理论和实例两方面, 对采用不同方式进行气候变量时间序列的尺度分解时, 所得结果出现的差异及其原因进行了分析讨论。结果表明, 采用不同时间分辨率的序列进行时间尺度分解的结果的真正物理意义是有差别的。另外, 个例分析还发现, 对时间分辨率高的序列进行时间尺度分解产生的截断误差较小, 而时间分辨率低的序列的截断误差较大。

关键词: 气候变量; 时间序列; 尺度分解

中图分类号: P468 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 01-0095-03

在大气科学研究中, 为了分析气候变量不同时间尺度的变化特征, 人们经常需要对其时间序列进行时间尺度分离^[1-3], 如对某测站多年逐月 (季节) 平均气温序列或者某个月 (季节) 平均气温的多年时间序列, 进行年际尺度变化分量、年代际尺度变化分量分离等。但是, 由上述两种不同的资料序列, 经相同的方法进行时间尺度分解后, 所得某月数据的年际尺度变化分量、年代际尺度变化分量的时间序列是否相同? 如果存在差异, 又该如何解释? 这就是本文要讨论的问题, 首先会进行概念和理论上的讨论, 然后给出实际的个例分析。

1 概念和理论分析

设有一多年逐月的气候变量时间序列 $X(t)$, 如月 (季节) 平均资料, 并为已减去相应月份 (季节) 的多年平均值而得到的距平值, 则该序列包含了月以上各种时间尺度的变化分量。在当前的气候研究中, 时间尺度一般可分为 3 部分: ① 年代际尺度变化分量 $A(t)$, ② 年际尺度变化分量 $B(t)$ 和 ③ 短周期变化分量 $C(t)$ ($2\text{月} < T < 2\text{年}$)。则时间序列 $X(t)$ 可用下列表达式表示

$$X(t) = A(t) + B(t) + C(t) \quad (1)$$

其中 $t = 1_1, 1_2, \dots, 1_{12}, \dots, n_1, n_2, \dots, n_{12}, \dots, N_1, N_2, \dots, N_{12}$, n 代表年, 共 N 年, 下标表示月份, 一年有 12 个月。从 (1) 式中抽取由第 i 个月的 N 年数据组成新的时间序列为

$$X(t_i) = A(t_i) + B(t_i) + C(t_i) \quad (2)$$

其中 $t_i = 1, 2, \dots, N$ 。为了下文讨论方便, 称该

做法为方案一。

另外, 在有关气候变化的研究中, 通常也会直接应用第 i 个月 (季节) 的 N 年时间序列进行时间尺度分解, 由于序列的时间间隔为一年, 故其分解结果应该只有年代际尺度变化分量 $A(i)$ 和年际尺度变化分量 $B(i)$, 即

$$X_i(t) = A_i(t) + B_i(t) \quad (3)$$

其中 $t = 1, 2, \dots, N$ 。为了讨论方便, 称该做法为方案二。

由于 $X(t_i)$ 和 $X_i(t)$ 是同一观测值, 即相等, 所以由 (2)、(3) 式有

$$A(t) + B(t_i) + C(t_i) = A_i(t) + B_i(t) \quad (4)$$

令 $C(t_i) = C_A(t_i) + C_B(t_i)$, 则从时间尺度对应的角考虑, 可有

$$A(t_i) + C_A(t_i) = A_i(t) \quad (5)$$

$$B(t_i) + C_B(t_i) = B_i(t) \quad (6)$$

(5)、(6) 式说明, 如果单独用第 i 个月 (季节) 的数据进行时间尺度分解时, 虽然观测的气象数据包含了各种时间尺度分量, 但由于采用的数据序列时间间隔大 (1 a) 而不能分辨更短周期的变化分量, 故分解出的年际尺度分量和年代际尺度分量还含有更短周期的成分, 或者说分别还包含了第 i 个月 (季节) 短周期分量值的年际尺度变化和年代际尺度变化, 而非真正物理意义上的年际尺度分量和年代际尺度分量。这也表明采用上述两种不同时间分辨率的资料序列分别得到某个月 (季节) 的年际尺度分量和年代际尺度分量是有差异的, 而这种差异正是由于采用不同时间分辨率的资料序列

* 收稿日期: 2005-02-17

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (5003339); 国家自然科学基金资助项目 (40175018)

作者简介: 简茂球 (1965年生), 男, 副教授; E-mail: eesinq@mail.sysu.edu.cn

造成的。至于两种方案分别得到的年际尺度分量或年代际尺度分量之间，哪种差异更明显，要通过实例才能分辨。

以上从概念和理论上的讨论可知，两种不同时间分辨率的气候资料序列，即使用同一统计方法进行时间尺度分解，分别得到的年际尺度分量和年代际尺度分量存在差别是必然的。所以，不同作者用诸如上述不同时间分辨率的同类气候资料序列得出的结果是没有可比性的，因为他们得到的年际尺度分量和年代际尺度分量的含义本来就不相同。如果说第一种方案得到的是真正物理意义上的年际尺度分量和年代际尺度分量，那么第二种方案得到的可谓是广义上的年际尺度分量和年代际尺度分量。

下面将从实际例子对上述的讨论进行验证。实际进行时间尺度分解时要用到具体的分解方法，在本文中我们将采用谐波分解法^[4]，即对一实测时间序列 $X(t) (t = 1, 2 \cdots, N)$ 可用展成如下的傅立叶级数

$$X(t) = a_0 \sum_{k=1}^{[N/2]} (a_k \cos \frac{2\pi k}{N} t + b_k \sin \frac{2\pi k}{N} t) + E \quad (7)$$

其中， $a_k = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N X_t \cos \frac{2\pi k}{N} t$ $b_k = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N X_t \sin \frac{2\pi k}{N} t$
 a_0 为 $X(t)$ 的平均值， E 为截断误差。 k 的取值为 $1, 2, \cdots, [N/2]$ （ $[]$ 表示取整数部分），式（7）三角函数项中的 k 取不同的值就有不同的周期 $T_k = N/k$ 。

2 个例分析

本个例用广州 1951 年 1 月至 2000 年 12 月共 600 个月的月平均近地面气温序列来进行分析，并重点考虑 1 月和 7 月的情况。在作谐波分解前，各月资料已进行相对该月多年平均值的距平化处理，故得到的时间距平序列已去除年循环分量。然后利用上一节提出的两种方案对 1 及 7 月平均气温进行谐波分解。针对本个例序列的样本，8 a 以上至 50 a 的周期分量为年代际尺度，2~8 a 周期分量为年际尺度，而 2 a 以下的周期为短周期分量。两种方法得到的 1 及 7 月气温的各尺度分量的标准差如表 1 所给。

表 1 两种方案得到的气温序列各时间尺度分量的标准差

Tab. 1 Standard deviations of different time-scale series of temperature based on two decomposition schemes /℃

月份	原序列	方案 1				方案 2		
		年代际分量	年际分量	短周期分量	截断误差	年代际分量	年际分量	截断误差
1	1.50	0.39	0.37	1.37	1.6×10^{-5}	0.70	1.44	0.33
7	0.62	0.39	0.33	0.64	1.5×10^{-5}	0.40	0.51	0.11

从表 1 可知，无论是 1 月还是 7 月，方案二的截断误差要比方案一的误差要大 4 个量级，说明采用方案一进行尺度分解，其精度较高，因为参与谐波分解的不同周期三角函数波较多的缘故。另外，从方案一的结果反映出，年代际分量和年际分量的标准差都较小，大小彼此较接近，短周期分量的标准差在各尺度分量的标准差中最大，并较接近原距平序列的标准差，说明短周期分量在原序列中是最主要的成分；1 月和 7 月的年代际分量标准差基本相同，而它们的年际分量的标准差非常接近，这是比较容易解释的，因为年代际尺度周期较长，变化较缓慢，该分量相距半年的值差较小，对年际分量的情形也可以类似得到解释。方案二的结果反映出年际尺度分量的标准差较年代际的大，而且年代际分量和年际分量的标准差都较方案一的对应值大，说明方案二的结果中，确实有短周期分量分别融合在年代际分量和年际分量中，且以融在年际分量中的比重更大些。

曲线图。图 1 给出两种方案得到年代际分量和年际分量的变化曲线。图中曲线表明，两种方案分别得到的年代际分量、年际分量都有很明显的差异，尤其是年际尺度分量的差别更大，甚至该分量两曲线的位相变化都不同，这些结果进一步证实了第二节的理论结果的正确性。另外，图 1a 的年代际变化曲线（实线）也反映出，自 1980 年以来广州气温的有明显增暖的趋势。

前面的讨论已表明，方案一中的短周期分量的方差与原距平序列的方差最接近，由此可以推测短周期分量的变化曲线与原距平序列的变化应该最为相似，而广州 1 月气温的情况（图 2）确实如此，两曲线的演变相当吻合。

此外，前面的讨论也已表明，方案二中的年际分量还包括了部分更短周期的成分，其方差也非常接近原距平序列的方差，这是否意味着方案二中的年际分量与方案一中的年际分量及短周期分量之和更为接近？图 3 给出了两曲线的比较，从中可看出两者的变化确实较为相似。

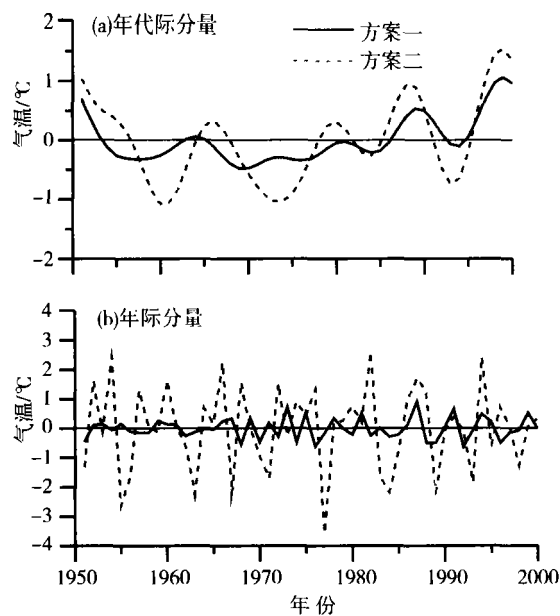


图 1 两种方案对广州 1 月气温进行的尺度分解得到的年代际分量 (a) 和年际分量 (b)

Fig. 1 Interdecadal components (a) and interannual components (b) of temperature in January at Guangzhou based on two decomposition schemes

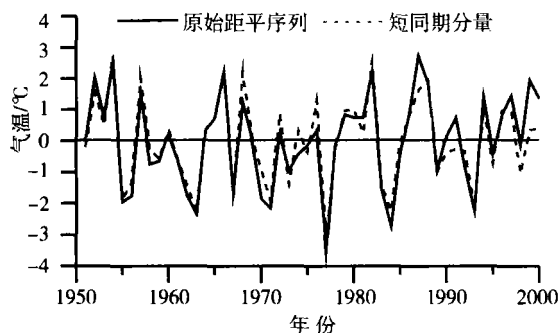


图 2 方案一中广州 1 月气温的原始距平序列和短周期分量

Fig. 2 The observed temperature anomaly series in January at Guangzhou (solid) and the decomposed short time scale (2 years) component (dashed) based on the decomposition scheme 1

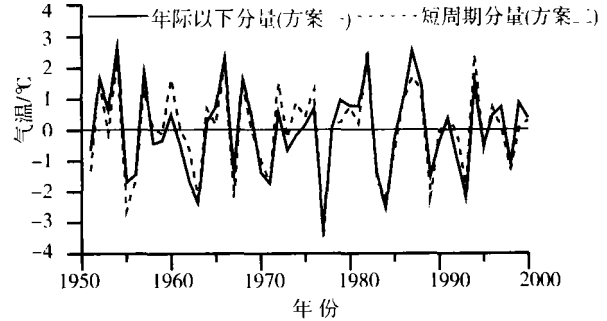


图 3 方案一中广州 1 月气温的年际分量与短周期分量合成序列和方案二中年际分量

Fig. 3 The decomposed temperature anomaly components with time scale less than 8 years based on scheme 1 (solid) and scheme 2 (dashed) respectively in January at Guangzhou

4 总 结

本短文就两种不同的方案下，对时间序列进行时间尺度分解所得结果的差异及其原因进行了概念理论和实例分析。采用不同时间分辨率的序列进行时间尺度分解的结果的真正物理意义是有差别的，这种差别也正是由于资料序列的时间分辨率不同而造成的。这是我们在进行气候变化研究当中值得注意的问题。另外，在个例分析中发现，对时间分辨率高的序列进行时间尺度分解产生的截断误差较小，而时间分辨率低的序列的截断误差较大。

参考文献:

[1] 乔云亭, 简茂球, 罗会邦. 亚澳季风区内水汽汇的准两年振荡及其与大气环流的关系 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005 44(5): 98 - 101

[2] 陆日宇. 华北汛期降水量年际变化与赤道东太平洋海温 [J]. 科学通报, 2005 50(11): 1131 - 1135.

[3] 陆日宇. 华北汛期降水量变化中的年代际和年际尺度的分离 [J]. 大气科学, 2002 26 611 - 624.

[4] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000 222 - 226

D i s c u s s i o n o n t h e T i m e S c a l e D e c o m p o s i t i o n o f C l i m a t i c T i m e S e r i e s

JIAN Mao-qiu

(Research Center for Monsoon and Environment//Department of Atmospheric Sciences
Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China)

Abstract The time scale decomposition of climatic time series with two different data schemes is discussed on both concept and observed data. The decomposition results of climatic time series with different temporal resolutions have different physical implications. There are smaller truncation errors for the decomposition with higher temporal resolution, but larger truncation errors for the decomposition with lower temporal resolution.

Key words climatic variable, time series, time scale decomposition