

文章编号: 1004-4965 (2003) 02-0213-06

海南省四十年来气候变化的多时间尺度分析

吴 慧, 陈小丽

(海南省气候中心, 海南 海口 570203)

摘 要: 利用 Morlet 子波变换对海南省 16 个站 1961~2000 年的逐月平均气温和降水资料进行小波分析, 结果表明: 二维小波系数图可以清楚地显示出气候变化在不同时间尺度上的演变特征, 并能对未来的气候演变趋势作出定性估计。小波方差图显示海南省逐月平均气温存在 1.3~5.3 年、7.5~10.7 年的显著周期; 逐月降水存在 1.3~7.5 年、10.7~21.3 年的显著周期。气温和降水在不同时间尺度上的小波系数变化曲线图揭示了气候的长期和短期变化趋势有很大不同。

关 键 词: 海南省; 气候变化; 小波分析

中图分类号: P467

文献标识码: B

1 引 言

气候的变化具有多层次演变特征^[1], 而对气候资料进行分析和诊断的方法如滑动平均、滤波、Fourier 变换等都具有以下缺点: (1) 在时域和频域上不具有局部化性质。(2) 对突变点的诊断缺乏数学上的严谨性。而小波分析在时域和频域上同时具有局部性, 可以对信号进行多时间尺度分析并能聚焦到所研究对象的任意微小细节, 因而优于传统的 Fourier 分析和统计分析。此外, MHAT 和 Morlet 等子波分析对奇异点的诊断还具有数学上的严谨性 (对应于拐点)^[2], 所以近年来被广泛应用于气候的多尺度分析研究^[3~6]。本文利用 Morlet 子波变换来分析海南省四十年来气温、降水的变化特征, 了解其在不同气候层次上的详细结构, 并对其未来的演变趋势进行定性估计。

2 资料处理和方法

2.1 资料处理

本文的资料选用海南省 16 个站点的历年逐月平均气温、降水资料 (其中 14 个站资料长度为 1961~2000 年, 2 个站资料长度为 1962~2000 年)。对于其中个别站点的个别月份

的缺测资料,采用回归订正法进行插补订正。为消除季节变化,实际计算时利用气温距平和降水量距平资料,为减小边界效应,在距平资料的两端进行对称性延伸 1 倍长度资料(对称延伸法),小波变换后仅保留原资料序列时段内的小波系数。

2.2 计算方法

小波分析来源于伸缩和平移方法,其基本原理是用一族函数去表示或逼近一个信号或函数。

Morlet 小波是常用的复数形式的小波函数,其表达式为

$$\Phi(x) = e^{-x^2/2} \cdot e^{ik_0 x}$$

其小波变换式为 $w_{a,b}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{a}} \overline{\Phi(\frac{x-b}{a})} dx$, 式中 $w_{a,b}(f)$ 为小波系数, $f(x)$

为一个信号或平方可积函数, a 为分辨尺度(也叫放大因子), b 为平移因子, 符号“ $\bar{}$ ”表示共轭, 其中 a 与 Fourier 分析中周期 T 之间的关系为: $T=1.144a$, 将 b 域上的所有小波系数的平方积分, 可得到小波方差, 即 $w_p(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |w_{a,b}(f)|^2 db$, 由小波方差可判别出序列变化的显著周期。

由于小波变换的分辨区域随放大因子 a 的变化而变化, 当 a 值较小时频域分辨率差而时域分辨率好; 当 a 值增大时对频域的分辨率增加而对时域的分辨率减小, 因此对于小尺度变化 a 的间隔应取小些, 而对于大尺度变化 a 的间隔应取大些。本文中取 $a = 2^{1+(k-1) \times 0.5} / 1.144$ ($k=4, 5, \dots, 16$), 对应时间尺度为 6 个月~30.2 年。

3 气温序列和降水序列的小波分析

3.1 气温序列的小波分析

图 1a~b 清楚地显示出海口气站 40 年来气温在不同时间尺度上的周期振荡。图中横坐标为时间(月份序号), 纵坐标为时间尺度(周期), 信号的强弱通过小波系数的大小表示。在图的上部, 20 年以上的时间尺度上, 1960 年代~1980 年代前中期小波系数为负值, 表示该阶段处于气温偏低阶段, 之后小波系数由负转正, 到 1990 年代后期小波系数最大, 表示气温在 1980 年代前中期出现转折, 由偏低转为偏高, 至 1990 年代后期达到 40 年来的最高值; 在图的中下部, 1~4 年时间尺度上的振荡较为明显, 其中 1960 年代以准 2 年周期振荡为主, 1970~1980 年代以准 3 年、准 1 年周期振荡为主, 1990 年代以准 1 年和准 4 年周期振荡为主。对比其它站的二维小波系数图, 发现全省各站的气温变化具有较好的一致性, 在 20 年以上的时间尺度上, 都具有比较强的信号, 且都是在 1960 年代~1980 年代前、中期气温偏低, 之后转为偏高, 1990 年代后期达到最高; 在 1~5 年的时间尺度上, 都具有较明显的周期振荡。

图 2a 为海口站逐月平均气温距平的小波方差, 图中横坐标为 K 值(与 T 有关), 纵坐标为小波方差。从方差图中可以更清楚地看出气温序列的主要周期: 在图中 $K=9$ (对

应于 $T=2.7$ 年) 处出现峰值, 说明 2.7 年的短周期比较显著。表 1 为海南省各站逐月平均气温距平的小波方差图显示出的主要周期。

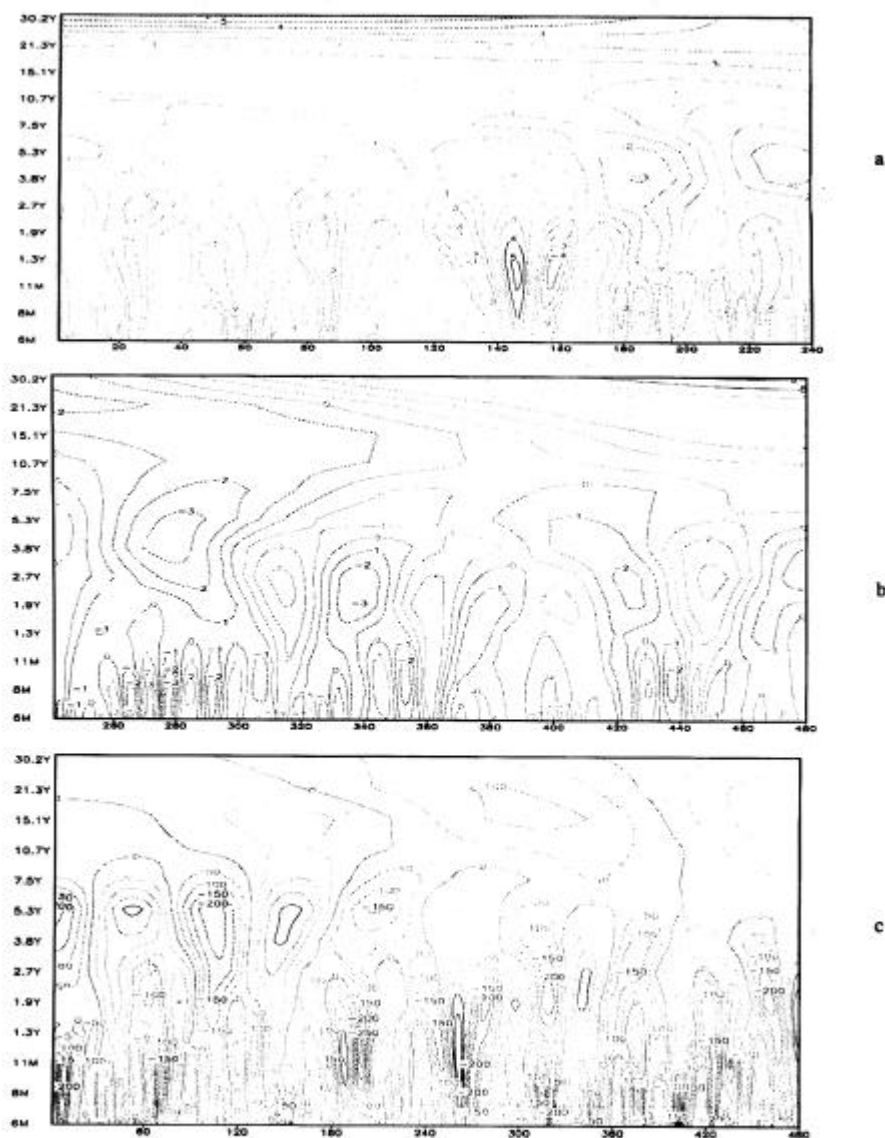


图 1 海口站逐月平均气温距平和降水距平的二维小波系数

a. 气温距平 (1961.1~1980.12); b. 气温距平 (1981.1~2000.12); c. 降水距平 (1961.1~2000.12)。

3.2 降水序列的小波分析

图 1c 为海口站逐月降水距平的二维小波系数, 由图可见在图的上部 15 年的时间尺度上小波系数有四个阶段的正负变化, 对应于 1960 年代中期以前降水处于偏少期, 1960 年代中期~1970 年后期处于偏多期, 1970 年代后期~1990 年代前期又进入偏少期, 之后

再进入偏多期；在图的中部 1960 年代~1980 年代初存在较明显的准 5~6 年周期振荡，之后则存在明显的准 2 年周期振荡。对比其它站的情况，发现全省各地的降水情况较气温复杂得多，局地性比较强。但在较小的时间尺度上，绝大部分地区都具有比较强的信号。

图 2b 为海口站逐月降水量距平的小波方差，由图可看出： $K=8$ （对应于 $T=1.9$ 年）的周期振荡最强， $K=11$ （对应于 $T=5.3$ 年）的周期振荡为次周期， $K=14$ （对应于 $T=15.1$ 年）的周期为第三周期。表 2 为海南省各站降水距平方差图显示出的主要周期。

表 1 海南省各站逐月平均气温距平的主要周期

第一周期	1.3~1.9 年	南部、东部大部、中部大部、北部的定安和澄迈
	2.7~3.8 年	北部大部、东部的琼海、西部的东方
	10.7 年	西部乐东
第二周期	1.9~5.3 年	西部乐东、中部白沙
	7.5~10.7 年	南部大部

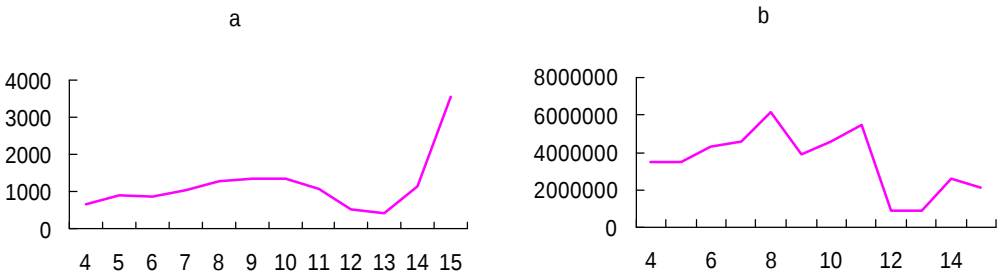


图 2 海口站逐月平均气温距平(a)、降水距平(b)小波方差

表 2 海南省各站降水的主要周期

第一周期	1.3~1.9 年	中部、北部大部
	3.8~7.5 年	西部、南部、东部大部
	15.1 年	北部定安、东部文昌
第二周期	1.3~1.9 年	西部、南部大部、北部定安
	3.8~5.3 年	中部大部、东部文昌、北部海口
	10.7~21.3 年	北部大部、东部大部、中部琼中、南部通什
第三周期	8 月~1.3 年	南部三亚、东部文昌
	15.1~21.3 年	北部海口、中部白沙、南部陵水、西部乐东

4 气温和降水变化的对比分析

作全省 16 个站在 30.2 年、21.3 年、15.1 年、10.7 年、5.3 年、1.9 年和 1.3 年时间尺度下的气温和降水的变化曲线图（图略），由图可看出，在不同的气候层次上，气温和降水存在不同的突变点，揭示了气候变化含有各种时空尺度，具有多层次结构的特点。另外，在较大时间尺度上和较小时间尺度上的气温和降水的变化是不同的。

4.1 突变点

在 30.2 年的时间尺度上，全省气温只有一个突变点，即在 1980 年 8 月~1986 年 6 月期间由偏冷转为偏暖。全省降水有 1~2 个突变点：南部、北部大部、中部大部、东部大部和西部东方只有一个突变点，其中的大部分地区在 1980 年 10 月~1987 年 7 月期间由偏

干转为偏湿,而东部琼海和中部琼中分别在 1983 年 1 月和 1986 年 1 月由偏湿转为偏干;其余的少数地区则有 2 个突变点,即在 1969 年 9 月~1971 年 4 月期间由偏湿转为偏干,1990 年 3 月~1991 年 7 月期间又由偏干转为偏湿。

在 21.3 年的时间尺度上,大部分地区的气温在 1984 年 11 月~1988 年 5 月期间由偏冷转为偏暖(西部的乐东在 1980 年 11 月),东部的琼海和中部的琼中有两个突变点:分别在 1968 年 7 月和 9 月由偏暖转为偏冷,1989 年 3 月和 1988 年 2 月由偏冷转为偏暖。降水有 1~3 个突变点,其中半数地区有 2 个突变点,即 1966 年 7 月~1976 年 2 月期间由降水偏多时期转为降水偏少时期,1984 年 5 月~1992 年 9 月期间降水由偏少又转为偏多;北部的临高、儋州和中部的屯昌仅有 1 个突变点,即在 1990 年 11 月~1992 年 9 月期间降水由偏少转为偏多。

在 10.7 年的时间尺度上,气温和降水存在 4~6 个阶段的冷暖和干湿变化,其中大部分地区的气温在 1960 年代中期前后由偏暖转为偏冷,1970 年代中期前后由偏冷转为偏暖,1980 年代又由偏暖转为偏冷,1990 年代前、中期则由偏冷又转为偏暖;而大部分地区的降水在 1960 年代前、中期由偏湿转为偏干,1970 年代前期由偏干转为偏湿,1980 年代前、中期由偏湿转为偏干,1990 年代前、中期由偏干转为偏湿。

在更小的时间尺度上,气温和降水存在更多层次的冷暖和干湿演变。

4.2 变化趋势

气温和降水的长期和短期的变化趋势有很大不同。在 30.2 年尺度大部分地区的气温和降水的趋势相同,即都是 1960~1980 年代前、中期偏干和偏冷同步,之后是偏湿和偏暖同步;而东部的琼海和中部的琼中两者趋势相反,表现为 1960~1980 年代前、中期偏湿和偏冷同步,之后转为偏干和偏暖同步。21.3 年和 15.1 年尺度上,大部分地区的气温和降水的趋势也是相同的,10 年以下尺度两者的变化趋势基本上是同位相与反位相互交替演变。

从二维小波系数图中可看到,小波系数的各个正负中心都是成对出现的,且对应的周期也大致相同,再根据 20~30 年时间尺度上的小波系数变化看,全省未来一段时期的气温可能仍将偏高;结合 1~5 年的高频振荡看,全省未来一年的气温可能仍将比常年偏高。从 15~30 年的时间尺度上看,未来一段时期全省大部分地区可能仍将维持降水偏多的局面,而东部的琼海和中部的琼中、白沙等多雨区仍将处于降水的偏少期;结合高频振荡周期看,全省大部分地区未来 1 年的降水可能将比常年偏多。

5 结 论

(1) 海南省各地气温和降水变化的周期性在时域中具有局部化特征,即某一周期性变化在某一时段明显,在另一时段则不明显,但从 40 年来看,全省逐月平均气温具有 1.3~5.3 年、7.5~10.7 年的显著周期,其中大部分地区存在 1.3~3.8 年的第一显著周期,全省逐月降水存在 1.3~7.5 年和 10.7~21.3 年的显著周期,其中大部分地区存在 1.3~7.5 年的第一显著周期。

(2) 从 30 年的时间尺度看,40 年来海南省气候变化的总趋势是,大部分地区在 1960~1980 年代前、中期变冷变干,之后变暖变湿;少数地区则是 1960~1980 年代前、中期变冷变湿,之后变暖变干。短期变化和长期变化有很大不同,表现为干冷、湿暖同步与干暖、湿冷同步相互交替演变。

(3) 未来一段时期全省大部分地区可能仍将处于偏暖偏湿期, 而东、中部的个别地区仍将处于偏暖偏干期; 未来 1 年全省气温可能将比常年偏高, 大部分地区降水将比常年偏多。

参 考 文 献:

- [1] 林振山. 气候层次理论及其应用[J]. 北京大学学报, 1990, 26: 355-360.
- [2] 林振山, 邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 22-25.
- [3] 邓自旺, 尤卫红, 林振山. 子波变换在全球气候多时间尺度变换分析中的应用[J]. 南京气象学院, 1997, 20: 505-510.
- [4] 尤卫红, 傅抱璞, 林振山. 云南近百年气温变化与 8 月低温冷害天气[J]. 高原气象, 1997, 16: 63-71.
- [5] 纪忠萍, 谷德军, 谢炯光. 广州近百年来气候变化的多时间尺度分析[J]. 热带气象学报, 1999, 15: 48-55.
- [6] 孙 娴, 杨碧轩, 徐小红. 小波分析在陕西气温变化研究中的应用[J]. 陕西气象, 1998, 5: 26-28.

MULTI-TIME SCALES ANALYSIS OF CLIMATE VARIATION IN HAINAN PROVINCE DURING 40 YEARS

WU hui CHEN Xiao-li

(Hainan Province Climate Center, Haikou 570203, China)

Abstract: In this paper, Morlet wavelet transformation is used to analyze monthly mean temperature and precipitation of 16 stations in Hainan, China, from 1961 to 2000. The results show that the two-dimensional wavelet coefficient chart can manifest clearly the features of climate variation on different time scales and it could also be used to estimate qualitatively the future tendency of climate. The curves of wavelet variance show that prominent periods of monthly mean temperature are 1.3~5.3 years and 7.5~10.7 years, monthly precipitation has prominent periods of 1.3~7.5 years and 10.7~21.3 years. The wavelet coefficient curves of temperature and precipitation on different time scales reveal that the long periodical variation trend is quite different from the short.

Key words: Hainan province; climate variation; wavelet analysis