

- [26] Conway D, Hulme M. Recent fluctuation in precipitation and runoff over the Nile subbasins and their impact on main Nile discharge. *Climate Change*, 25: 127—151.

A SCANNING t TEST OF MULTISCALE ABRUPT CHANGES AND ITS COHERENCE ANALYSIS

JIANG JIAN-MIN

(Training Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

KLAUS FRAEDRICH

(Meteorological Institute, Hamburg University, Bundesstrasse 55, D-20146 Hamburg, Germany)

ZOU YAO-REN

(Dalian Meteorological Observatory, Dalian 116001, China)

[Abstract] A scanning t test of multi-scale abrupt changes is introduced by extending the student t test, which detects the difference between two subsample means. It is shown that this algorithm has not only the capacity similar to Haar wavelet transform coefficient $W(a, b)$ for detection of multi-scale abrupt changes, but also gives the statistic significance threshold, which the wavelet analysis can not do. The subsample size n (comparative to the scale parameter a in $W(a, b)$) of the statistic $t(n, j)$ may vary successively without limitation of integer power of 2 as in the wavelet transform for a discrete series, so that the algorithm may detect any longer signal series like a scanner. However, this algorithm is not a decomposition tool because the second momentum, the variance, is involved. In addition, a correction to the Effective Degrees of Freedom (Ef) of t test is adopted for the dependency of an observation series to be detected. A coherence detection of abrupt changes between two signal series is carried out. The results of an application to historic series (AD622—1470) of the maximum and minimum flood levels of the Nile River reveal objectively that there appears some abrupt changes in phase and out of phase on certain scales between the two series. The relative dry and wet phases on around 0.5—1.5 century scale are further repartitioned following this detection. And these dry/wet phases coincide better with historic records of catastrophe in Egypt found so far and are some improvements upon previous researches.

[Key words] Scanning t test, Multi-scale abrupt change, Water level of River Nile.

多尺度突变现象的扫描式 t 检验 方法及其相干性分析

江剑民

(中国气象局培训中心,北京 100081)

Klaus Fraedrich

(Meteorological Institute, Hamburg University, Bundesstrasse 55, D-20146 Hamburg, Germany)

邹耀仁

(大连市气象局,大连 116001)

[摘 要] 阐明了将检测两子样本平均值之差的 Student t 检验推广到对多尺度突变现象进行扫描式检测的计算方法;对于 t 检验要求序列独立的限制,引用了初步的订正方法;还给出了检测两个序列间多尺度突变相干性的计算公式. 扫描式 t 检验不仅具有相当于子波变换检测多尺度突变现象的功能,而且解决了子波变换检测突变时缺少临界值的问题. 由于 t 统计量包含有二阶矩均方差,它不能像子波变换那样作为分解工具,但检测的尺度参数也就不必局限于 2 的整数幂,因而可以进行扫描式检测. 应用于尼罗河年最高与最低水位历史序列 (AD622—1470),能较客观和精确地检测出两序列在某些尺度上的相干性(同步或反位相)变化;并由此重新划分了该流域几十年至百余年时间尺度的相对干湿期. 结果与目前查阅到的埃及灾荒历史记载相吻合.

[关键词] 扫描式 t 检验,多尺度突变现象,尼罗河水位.

1 引 言

过去常用的 Mann-Kendall 秩和检验与 Yamamoto 判据,都局限于检测较短序列中的一次突变事件^[1,2]. 固定子样本长度的滑动 t 检验方法也只能检测长序列中单一时间尺度上的多次突变现象^[3,4]. 近年来,子波分析作为一种分解工具和检测长时间序列中多重尺度突变现象的方法技术,已逐渐广泛地应用于数学、物理学、数字信号处理、图像、数值分析、地球物理和气象学等领域^[5]. 但是,子波方法本身不能给出检测突变现象的统计显著性临界值. 在对称性母函数的子波变换中,只能利用零值线两侧的大梯度变化特征进行经验性判断. 在非对称性母函数的子波变换中,也只是用极大(小)中心值作估计^[6]. 或者依靠另外的统计检验来核算是否达到了统计显著性标准^[7,8].

[收稿日期] 2000-01-23 收到,2000-06-12 收到修定稿.

[基金项目] 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040901)与德国合作项目.

[作者简介] 江剑民,男,1939年生,教授. 1962年毕业于南京大学气象学系,1981年获北京大学地球物理系硕士学位. 从事短期气候预测、气候变化和大气环流方面的教学和研究. E-mail:jjjiang@bam-pfeg.noaa.gov

若将经典的检测两子序列平均值之差的 Student's t 检验方法推广到多重尺度子样本并沿着时间顺序进行滑动计算,可以获得与 Haar 子波变换相当的检测效果,而且给出了统计显著性的临界标准. 本文先用计算公式说明扫描式 t 检验方法与 Haar 子波变换的异同. 然后对尼罗河逐年最高和最低水位的历史实测资料进行应用分析,获得一些新的结果. 文中 Haar 子波变换计算公式及计算结果见附录.

2 扫描式 t 检验方法

2.1 扫描式 t 检验算式

若将两子样本量相等情况下经典的 Student's t 检验推广应用到检测长序列中多重时间尺度的突变现象,则 t 统计量的计算式可以写成

$$t(n, j) = (\bar{x}_{j2} - \bar{x}_{j1}) n^{1/2} (s_{j2}^2 + s_{j1}^2)^{-1/2}, \quad (1)$$

其中

$$\bar{x}_{j1} = \frac{1}{n} \sum_{i=j-n}^{j-1} x(i), \quad \bar{x}_{j2} = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{j+n-1} x(i),$$

$$s_{j1}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=j-n}^{j-1} (x(i) - \bar{x}_{j1})^2, \quad s_{j2}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=j}^{j+n-1} (x(i) - \bar{x}_{j2})^2,$$

这里 n 表示两相邻子序列的长度,可与子波变换中的尺度参数 a 相比拟, $n=2, 3, \dots, < N/2$, 也可以选择适当的间隔. j 是检测突变现象的参考点,可与子波变换中的位置参数 b 相对应, $j=n+1, n+2, \dots, N-n$. 这样 $t(n, j)$ 便可以具有与子波系数 $W(a, b)$ 相当的检测功能. 它与 Haar 子波变换之间的主要差别是: ① Haar 子波变换只计算了相当于相邻两子序列的平均值之差,而 t 检验还考虑了二阶矩 S_{j1}, S_{j2} 的影响. ② t 检验能够给出不同置信度下的统计显著性临界值,这正是它的优点所在. ③ 由于包含了随子序列而变化的二阶矩,统计量 $t(n, j)$ 不再能像子波变换那样作为一种分解的工具,但也就不受像在离散序列上进行子波变换时那样要求尺度参数 a 是 2 的整数幂的限制,从而可以对序列中任何尺度 ($n < N/2$) 突变事件进行扫描式检测. ④ t 检验要求序列应是独立和遵从正态分布的. 这是一种局限,在实际应用中需进行适当的处理. 例如,可采用开立方的办法去对偏态分布样本作正态化预处理;利用自相关系数订正 t 统计量的自由度来修订 t 检验的统计量显著性临界值等.

2.2 关于序列非独立性的订正

上述 t 检验的自由度,对于独立、正态分布的序列可由下式的近似整数来估算^[9]

$$f(n, j) = (s_{j1}^2 + s_{j2}^2)(n-1)n(s_{j1}^4 + s_{j2}^4)^{-1}. \quad (2)$$

现在常用数理统计表中都简化采用

$$f(n) = 2n - 2. \quad (3)$$

对于非独立的序列,由上式估算的自由度通常偏大,问题复杂一些. 本文暂采用较简便的方法,利用该序列的自相关系数 $r(\tau)$ 来估算 t 检验的有效自由度 E_f ^[10]:

$$E_f(n) = f(n) \cdot \left[\sum_{\tau=0}^K r^2(\tau) \right]^{-1}, \quad (4)$$

其中自相关系数的最大阶数 K ,在实际计算时可适当取到 $r^2(\tau)$ 接近 0 值的阶数.

在估计出有效自由度 $E_f(n)$ 后,便不难从 t 分布的双侧分位数 t_α 表中查出,或由计算机子程序中计算出 t_α 值. 通常 $t_{0.01}$ 的水准同其他一些气候突变的检验标准,如 Mann-Kendall 或 Yamamoto 检验在置信度 $\alpha = 0.05$ 时水准相当^[1]. 为使图表直观,分析方便,还可计算比值

$$t_r(n, j) = t(n, j) / t_{0.01}(E_f(n)) \quad (5)$$

作为 t 检验的判据值. 显然,当 $|t_r(n, j)| > 1.0$ 时,可判断该突变超过了置信度为 $\alpha = 0.01$ 的统计显著性水准. 其中 $t_r(n, j) < -1.0$ 表示变化趋势下降的突变, $t_r(n, j) > 1.0$ 代表上升的突变事件.

2.3 两序列间突变现象的相干性检测

欲考察两个序列 a 与 b 间多尺度突变现象的相干性(同步或反位相变化),可计算对应格点上 t 检验判据值的乘积,称作相干性指数

$$t_{rc}(n, j) = \text{sign} \left\{ t_{ra}(n, j) t_{rb}(n, j) \right\} \left| \left| t_{ra}(n, j) t_{rb}(n, j) \right| \right|^{1/2} \quad (6)$$

一般, $|t_{rc}(n, j)| > 1.0$ 时,正极大值中心表示两者突变同位相,负值(极小)中心表示两者突变反位相. 严格说来,还应该要求 $|t_{ra}(n, j)|$ 和 $|t_{rb}(n, j)|$ 也同时大于 1.0.

3 对尼罗河水位历史序列的应用分析

河流水位的变化通常是气候变化的一种反映. 尼罗河干流的夏季极大流量主要来源于其支流兰尼罗河源地埃塞俄比亚高原的季风降水,而初夏出现的极小流量主要与白尼罗河发源地赤道东非洲维多利亚湖区的赤道雨相联系^[11]. 由于尼罗河水位纪录历史悠久,自从 Toussoun^[12] 及 Poper^[13] 建立和修订该河流开罗劳代岛逐年最高和最低水位序列资料以来,已引起世界上不少科学家广泛的研究,内容涉及到它们的长期变化^[12], 趋势和周期性^[14-18], 持续性^[13, 20, 21], 以及与世界其他区域如 ENSO 及欧洲等地区气候变化的联系^[22, 23]. 然而以往的研究大多强调最高与最低水位之间的不相关或针对年最低水位序列为主,较少研究在某些时间尺度上变化的相干性,所划分的干湿阶段与埃及的灾荒记载也不一致^[11].

本节试图应用扫描式 t 检验算法,揭示尼罗河年最低水位与最高水位在较长时间尺度上突变的相干性,并据此重新划分了该河流数十年至百余年尺度的相对干湿期. 同时还与我国历史气候变化的一些研究成果作些比较.

本文采用的尼罗河年最高与最低水位 R_i 序列的数据与文献[19]相同,是 AD 622—1470 年间的连续纪录(图 1),个别年代因缺测而用线性内插插补. 统计表明,其最低水位序列近似正态分布,最高水位序列分布的众数稍偏向于高值一侧(图略). 年最低水位序列 0 至 85 阶的自相关系数平方和为 3.598,年最高水位的相应值为 5.645.

图 2(a, b)分别为年最高水位(a)、最低水位(b)的扫描式 t 检验判据值 $t_r(n, j)$ 的二维演变,绘图时使用 Surfer 软件作了平滑处理. 图 2(c)是图 2(a)与图 2(b)在各对应格点上的相干性指数 $t_{rc}(n, j)$ 的等值线图.

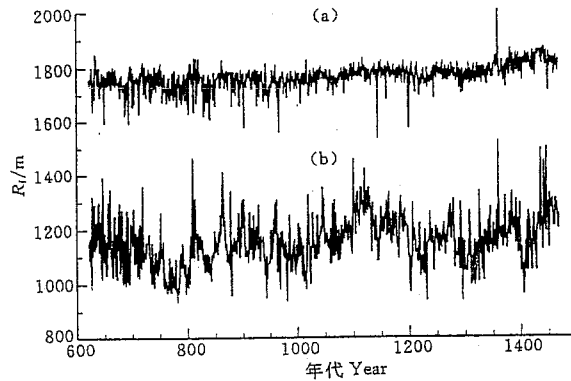


图1 尼罗河年最高水位(a)、最低水位(b)历史序列曲线(R_i 为水位值)

Fig. 1 Historic time series of the maximum (a) and minimum (b) flood levels of the Nile River

各序列的突变年代在文献[2]中已作了详细说明. 这里只着重讨论两序列某些同步性及反位相变化的突变现象. 从图 2(c)可见:(1) 最明显和最长时间尺度的突变发生在第 11 世纪 1050 年前后, 时间尺度为 360 年以上的河流流量增大. 这一特征在年最高水位序列(图 2(a)上表现得更为突出, 其后河流流量增大的持续时间更长. 年最低水位序列(图 2(b)增高的变化比年最高水位强些, 但此后水位增高, 到 1120 年至 1300 年间却转变为下降, 之后又再次增高. 由此导致图 2(c)上在 AD 1150 年至 1290 年间, 128 年至 256 年尺度上出现负值, 中心约在 AD 1225 年和 200 年尺度上. 即检测出年最高水位与年最低水位两者之间的反位相变化.

根据姚檀栋^[24]等近年对青藏高原西昆仑山古里雅冰帽中钻取的冰芯分析, 也获得类同的结论: 该地区在近 2000 年的气候变化中, 公元 1100 年是一个关键转折时期. 反映温度变化的 $\delta^{18}\text{O}$ 在波动中明显增高; 反映大气环境尘埃变化的 Ca 和 Mg 离子含量在波动中骤然减小; 反映降水变化的冰川积累量由减小转变为增大. 对北京颐和园昆明湖沉积物的探测分析, 也表明 11 世纪因干旱导致湖底裸露, 沉积物中孢粉含量骤减, 介形虫绝迹, 可能也是经历了一次气候大变化^[25]. 此外, 在欧洲德国也发现有 11 世纪气候突变的证据: 沉积物中干物质含量猛增, 树木年轮和干、暖夏季频数改变. 在欧洲把 1100 年至 1300 年间称作小适宜气候期, 其后至 1500 年, 称作小适宜气候期与小冰期(1500 年至 1900 年)之间的间歇(过渡)期^[2]. 上述在非洲、亚洲和欧洲发现的这些突变事实, 可能都是全球范围数世纪时间尺度气候变化在该地区的反映.

根据图 2(c)中的正值中心, 同时参考图 2(a)与图 2(b)中 t 检验判据值, 还检测出尼罗河最高与最低水位两个序列基本同步的另外 10 次突变事件. 其中子序列在 91 年、83 年尺度上有 4 次突变, 先后发生在 AD 849 年的水位上升、935 年下降、1195 年下降和 1342 年的上升. 尺度为 45 年、35 年的 4 次出现在 AD 759 年的水位下降、1096 年上升、1246 年上升和 1281 年的下降. 尺度为 15 年及 12 年的突变出现在 AD 828 年的水位下降和 AD 951 年上升. 其中 35 年尺度上 AD 759 年、1246 年、1281 年 3 次突变前后的相对干

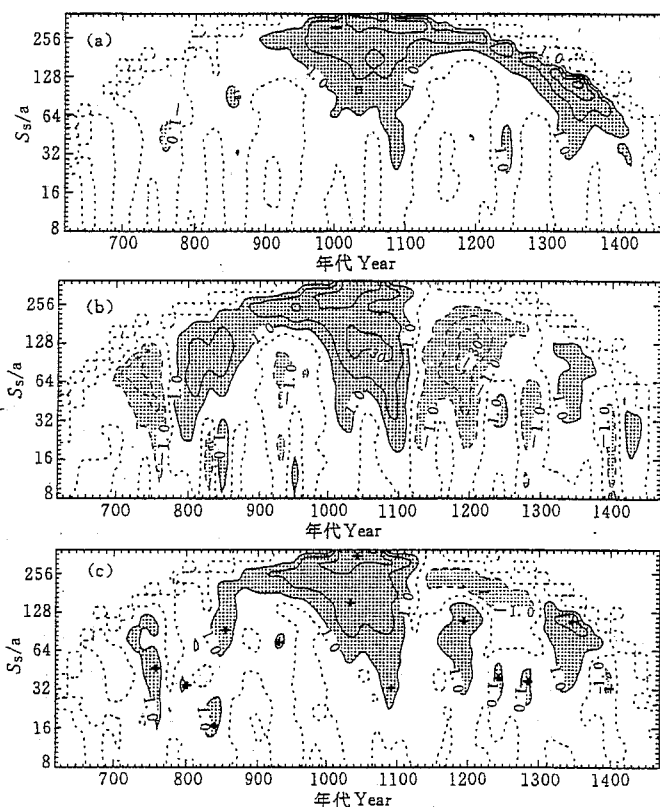


图2 尼罗河年最高水位(a)、最低水位(b)的扫描式 t 检验及其相干性(c)检测图

阴影表示通过 $\alpha=0.01$ 统计显著性水准的区域,

即 $|t_r(n, j)|$ 或 $|t_m(n, j)| > 0$, 纵坐标 S_s 代表子样本数.

Fig.2 Contours of the scanning t test of the maximum (a), minimum (b) flood levels of River Nile and their coherence detection (c) (Shaded areas indicate $|t_r(n, j)|$ or $|t_m(n, j)| > 0$)

湿期与 Poper^[3] 采用每十年平均值的结果相近,但他没有发现 1096 年这次突变事件. AD849 年和 AD1281 年的突变与 Riehl and Meitin^[20] 的划分接近.

若不计时间尺度短于 15 年和长于 200 年的突变事件,只考虑 91 年、83、45 和 35 年 4 种尺度,并按时序连接起来,可划分出尼罗河年最高水位和最低水位大致同步的相对干(枯水)、湿(丰水)期,如表 1 所示.表中 * 号表示反位相突变,即年最高水位上升而最低水位下降.这一结果与埃及有关灾荒的历史记载^[11] 比较吻合,对以往的阶段划分^[16,20] 有所改进,也比文献^[11] 的划分细致一些.例如,对持续最长的干旱期 935—1095 年间,曾记载有“935—977 年间,由于尼罗河多次严重枯水导致埃及大片耕地不能种植,以至北非部落趁机入侵,最终于 AD 969 年被 Fatimid 所接管”.又记载有“1052—1090 年间,由于持续大旱,人们死于饥饿、疾病和瘟疫,甚至于人相残食,埃及人口从 240 万锐减到 150 万”.对于湿期 1342—1400 年间,记载有“在 1359—1360 年,埃及大批人群走出野外乞求

天神降低尼罗河水位”。1374、1394 年和 1403 年等年尼罗河多次洪水泛滥,造成饥荒和瘟疫蔓延”。对 AD 1401—1470 年间也有“多年水位高低交替”的记载。这些又“致使埃及人口从 1300 年的 400 万减少到 15 世纪末的 300 万”。而在 AD 1096—1194 年间反位相变化的相对湿期,年最高水位虽一度上升,但全局看来仍偏低;最低水位虽一度下降,但全局看来仍偏高,应属于湿相宜的时期,实际上也未见到大灾荒的记载。

表 1 尼罗河的主要干、湿期划分

Table 1 Coherently dry/wet episode of River Nile

主要湿期	主要干期	主要湿期	主要干期
622—758(137 年)	759—848(91 年)	1246—1280(35 年)	1281—1341(61 年)
849—934(86 年)	935—1095(161 年)	1342—1400(59 年)	1401—1470(70 年)*
1096—1194(99 年)*	1195—1245(51 年)		

上述变化的时间尺度比我国东部和西部相应时期的干湿期划分尺度要短些^[4,24],与欧洲干物质沉淀的具体变化也不再一致^[2]。这说明气候变化的时间、空间尺度是有一定匹配关系的,不同时间、空间尺度受不同因素的控制。正如尼罗河年最高水位与最低水位之间在逐年变化上可能由于主要源地不同而相关性很差^[26,11],但半世纪以上时间尺度的变化趋势仍能保持相当多的一致性。而非洲与欧亚的气候在百年以内尺度上不大相关,但在数百年或千年以上尺度又可能遥相呼应。

4 小 结

4.1 本文从计算公式和应用实例说明了扫描式 t 检验算法在对多尺度突变现象的检测上,具有与子波分析类同的功能,并给出了适宜的统计显著性检验标准,从而解决了子波检测突变时缺少临界值的问题。正由于 t 检验不能像子波变换那样作为分解的工具,也就不像子波变换那样在应用于离散序列时,要求其尺度参数 a 须是 2 的整数幂的限制,因而可以用来作扫描式检测。但 t 检验要求序列是独立和正态分布的,实际应用时应当谨慎,或者作适当的订正。例如,对明显非正态分布的序列(如降水量)做适当的正态化处理;利用非独立序列的自相关函数去订正 t 检验的有效自由度等等。

4.2 将扫描式 t 检验技术应用于尼罗河年最高与最低水位历史序列,能比较客观、精确地检测出两序列在 200 年以上、91、83、45、35、15 和 12 年时间尺度上突变的相干性。并在此基础上对尼罗河历史时期几十年至百余年时间尺度的干湿期,作出了新的划分(表 1)。结果与目前查阅到的埃及灾荒历史记载相吻合,比以往的研究有所改进。

4.3 这种扫描式 t 检验技术,也适用于检测一般数字信号序列中的一阶矩多尺度突变现象。

附录 Haar 子波变换的算式与计算结果

为便于与扫描式 t 检验算法进行比较,可将 Haar 子波变换的母函数写成以下形式:

$$g(z) = \begin{cases} -1, & \text{当 } -1 \leq z \leq 0 \\ 1, & \text{当 } 0 \leq z < 1 \\ 0, & \text{当 } |z| > 1 \end{cases} \quad (7)$$

其中 $z = (t-b)/a$, $a > 0$, 代表尺度参数; b 是位置(时间)参数; t 表示序列中的位置(时刻)变化. 对于离散的时间序列 $x(t)$, ($t=1, 2, \dots, N$), 其子波系数可按下式计算:

$$W(a, b) = (c_g a)^{-1/2} \sum_{t=1}^N x(t) \cdot g((t-b)/a), \quad (8)$$

此时, 尺度参数 $a > 0$ 与位置参数 b ($b=1, 2, \dots, N$) 均为整型数, c_g 是取决于母函数 $g(z)$ 的傅里叶变换全部波数(频率)总功率常数.

不难理解, 上式表达的 Haar 子波系数 $W(a, b)$ 是与参数 b 之后 a 个样本单元组成的子序列平均值减去 b 点之前 a 个单元组成的子序列平均值之差成比例的. 当此差值大到一定程度时, 便能揭示出原序列中在 b 点两侧存在有时间尺度为 a 的子序列一阶矩的突变现象. 其他非对称性子波变换与 Haar 子波的主要区别是计算 b 点前后两子序列的加权(权重取决于母函数)平均值之差.

图 3 绘出了尼罗河年最高(a)与最低水位(b)历史序列的 Haar 子波系数 $W(a, b)$ 二维演变等值线图. 容易看出它们的型式和主要中心与图 2 很相似, 但不能确定突变的临界值.

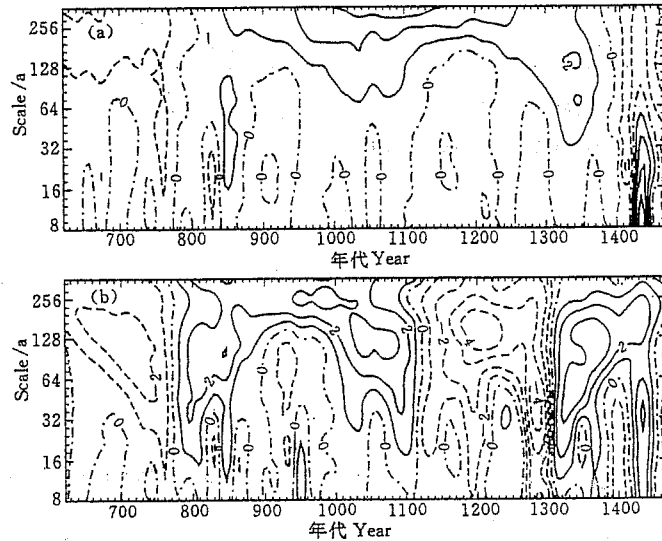


图 3 尼罗河年最高水位(a)、最低水位(b)序列的 Haar 子波系数演变图

Fig. 3 Haar wavelet coefficients of the maximum (a) and minimum (b) flood levels of the Nile River

参 考 文 献

- [1] Jiang Jian-Min, You Xing-Tian. Where and when did an abrupt climate change occur in China during the last 43 years? *Theor. and Appl. Climatol.*, 1996, 55: 33—40.
- [2] Freadrich K, Jiang Jian-Min, Gerstengarbe W, et al. Multiscale detection of abrupt climate changes: Application to Nile River Flood levels. *Intern. J. Climatol.*, 1997, 17: 1301—1315.
- [3] 严中伟, 李兆元, 王晓春. 历史上 10 年—100 年尺度气候跃变分析. *大气科学*, 1993, 17(6): 663—672.
YAN Zhong-Wei, LI Zhao-Yuan, WANG Xiao-Chun. An analysis of decade-and century scale climatic jump in histo-

- ry. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1993, 17(4):359—367.
- [4] 张德二,刘传志,江剑民. 中国东部6区域近1000年干湿序列的重建和气候跃变分析. 第四纪研究, 1997, (1): 1—11.
ZHANG De-Er, LIU Chuan-Zhi, JIANG Jian-Min. A reconstruction and analysis of climatic wetness-series in recent 1000 years in 6 regions of eastern China. *Research of the Quaternary* (in Chinese), 1997, (1):1—11.
- [5] Kumar P, Foufoula-Georgiou E. Wavelet analysis in geophysics: An Introduction. In: Foufoula-Georgiou E, Kumar P ed. *Wavelets in Geophysics*. San Diego: Academic Press, 1994, 1—43.
- [6] Brunet Y, Collinean S. Wavelet analysis of diurnal and nocturnal turbulence above a maize crop. In: Foufoula-Georgiou E, Kumar P ed. *Wavelet in Geophysics*. San Diego: Academic Press, 1994, 129—150.
- [7] 刘式达, 郑祖光, 赵汉光. 气候层次和分数维. 气象学报, 1993, 51(3): 335—342.
LIU Shi-Da, ZHENG Zu-Guang, ZHAO Han-Guang. Climatic hierarchy and the fractal dimension. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1993, 51(3):335—342.
- [8] Jiang Jian-Min, Zhang De-Er, Fraedrich K. Historic Climate Variability of Wetness in East China (960—1992): A wavelet analysis. *Intern. J. Climatol*, 1997, 17:969—981.
- [9] Essenwanger O M. General Climatology, 1D-Elements of statistical analysis, World survey of climatology, volume 1B. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986, 271—272.
- [10] Hammersley J M. Discussion of papers. *Journal of the Royal Statistic Society*, 1946, 8:91.
- [11] Said R. The River Nile, geology, hydrology and utilization. Oxford: Pergamon Press, 1993.
- [12] Toussoun P O. Memoire Sur l'histoire du Nil. Cairo: MIE, IX, 1925.
- [13] Poper W. The Cairo Nilometer. Berkley: The University of California Press, 1951.
- [14] Hurst H E, Black R P, Sinaika Y M. Long term storage in reservoirs, An experimental study. London: Constable, 1965.
- [15] Brooks C E P. Periodicity in the Nile floods. *Memories of the Royal Meteorological Society*, 1927, II (12):9—26.
- [16] Hassan F A. Historical Nile floods and their implications for climate change. *Science*, 1981, 212:1142—1144.
- [17] Hameed S. Fourier analysis of Nile flood levels. *Geophys. Res. Lett*, 1984, 1:843—845.
- [18] Currie R G. On bistable phasing of 18.6-year induced drought and flood in the Nile records since AD650. *Intern. J. Climatol*, 1987, 7:373—389.
- [19] Fraedrich K, Bantzer Ch. A note of fluctuations of the Nile River flood levels (714—1470). *Theor. Appl. Climatol.*, 1991, 44:167—171.
- [20] Riehl H, Meitin J, Discharge of Nile River: A barometer of short-period climate variation. *Science*, 1979, 206:1178—1179.
- [21] Evans T E. History of the Nile flows. In: Howel P O, Allan J A ed. The Nile-resource evaluation, Resource management, Hydroplitics and legal issues. Conference at Roy. Geogr. Soc. Univ. of London, 1990:5—40.
- [22] Whetton P, Adamson D, Williams M. Rainfall and river flow variability in Africa, Australia and East Asia linked to Elnino-Southern Oscillation events. In: Geological Society of Australia Proceedings, 1990, 1:71—82.
- [23] Quinn W H. A study of Southern Oscillation-related climatic activity for AD 622—1990 incorporating Nile River flood data. In: Diaz H F, Markgraf ed. Elnino: Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992.
- [24] 姚檀栋, 秦大河等. 青藏高原2ka来温度与降水变化——古里雅冰芯记录. 中国科学(D辑), 1991, 26(4): 348—353.
YAO Tan-Dong, QIN Da-He, et al. Changes of precipitation and temperature in Tibet during the last 2Ka-a glacier record in Guliya of the Tibet. *Science in China* (D)(in Chinese), 1991, 26(4):348—353.
- [25] 张丕远, 葛全胜. 过去气候演化的阶段性和突变, 地学前缘, 1997, 4(1): 122—126.
ZHANG Pei-Yuan, GE Quan-Sheng. On the phases and abrupt change of climate change in the past. *Front of Geophysics* (in Chinese), 4(1):122—126.

- [26] Conway D, Hulme M. Recent fluctuation in precipitation and runoff over the Nile subbasins and their impact on main Nile discharge. *Climate Change*, 25:127—151.

A SCANNING t TEST OF MULTISCALE ABRUPT CHANGES AND ITS COHERENCE ANALYSIS

JIANG JIAN-MIN

(Training Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

KLAUS FRAEDRICH

(Meteorological Institute, Hamburg University, Bundesstrasse 55, D-20146 Hamburg, Germany)

ZOU YAO-REN

(Dalian Meteorological Observatory, Dalian 116001, China)

[Abstract] A scanning t test of multi-scale abrupt changes is introduced by extending the student t test, which detects the difference between two subsample means. It is shown that this algorithm has not only the capacity similar to Haar wavelet transform coefficient $W(a, b)$ for detection of multi-scale abrupt changes, but also gives the statistic significance threshold, which the wavelet analysis can not do. The subsample size n (comparative to the scale parameter a in $W(a, b)$) of the statistic $t(n, j)$ may vary successively without limitation of integer power of 2 as in the wavelet transform for a discrete series, so that the algorithm may detect any longer signal series like a scanner. However, this algorithm is not a decomposition tool because the second momentum, the variance, is involved. In addition, a correction to the Effective Degrees of Freedom (Ef) of t test is adopted for the dependency of an observation series to be detected. A coherence detection of abrupt changes between two signal series is carried out. The results of an application to historic series (AD622—1470) of the maximum and minimum flood levels of the Nile River reveal objectively that there appears some abrupt changes in phase and out of phase on certain scales between the two series. The relative dry and wet phases on around 0.5—1.5 century scale are further repartitioned following this detection. And these dry/wet phases coincide better with historic records of catastrophe in Egypt found so far and are some improvements upon previous researches.

[Key words] Scanning t test, Multi-scale abrupt change, Water level of River Nile.