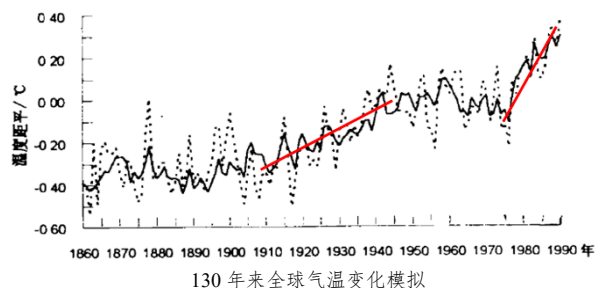


第五章 气候变化趋势分析



研究对象 气候时间序列 x_t : 随时间变化的一系列气候数据。

如年降水总量、月海表温度、日最高(低)气温、积雪深度及日数、台风强度及路径等序列。

基本特点

- ① 数据取值随时间变化
 - ② 每一时刻取值的随机性
 - ③ 前后时刻数据之间存在相关性、持续性
 - ④ 序列整体有上升或下降趋势，或呈周期振荡
 - ⑤ 某一时刻数据取值出现转折或突变
- 时间序列不是同时满足这些特性的

公式

任一气候时间序列 x_t 可看成由以下几个分量构成:

$$x_t = H_t + P_t + C_t + S_t + a_t$$

H_t 气候趋势分量 P_t 气候序列固有的周期性变化
 C_t 循环变化分量 S_t 平稳时间序列分量 a_t 随机扰动项

分解时间序列: 要分离 H_t 的常用做法, 采用年、月、季节总量或平均值等来构造气候时间序列。这样可以消除 P_t , 再通过统计处理消除或削弱 C_t 和 a_t 。

5.1 线性倾向估计

5.1.1 方法介绍

方法介绍 用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量, 用 t_i 表示 x_i 所对应的时间, 建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归关系:

$$\hat{x}_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

含义 用一条合理的直线 \hat{x}_i 表示 x 与其时间 t 之间的关系。 a, b 是回归系数, a, b 可用最小二乘法进行估计。

计算方法 $a = \bar{x} - b\bar{t}$ $b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - n\bar{x}\bar{t}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n\bar{t}^2} = \frac{s_{xt}}{s_t^2}$ **相关系数:** $r = \frac{s_t}{s_x} \times b = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n\bar{t}^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}} \times b$

5.1.2 计算步骤

第一步 对变量 x_i 构造其对应的时间序列 t_i 。可以是年份, 也可以是自然数序列等。

第二步 根据公式算出回归系数 b , 回归常数 a 及相关系数 r 。

第三步 将 a, b 的值代入回归方程式, 求出回归计算值。

5.1.3 计算结果分析

回归系数 b 又称为倾向值, b 的符号说明了气候变量 x 的**趋势倾向**。当 $b > 0$, x 是呈上升趋势; 当 $b < 0$, 则为下降。 b 值的大小反映了上升或下降的速率, b 的绝对值越大, 表明直线越倾斜。

相关系数 r 相关系数反映了 **x 与 t 间的密切程度**。当 $r = 0$, 说明 x 的变化与时间无关。 $r > 0$ 说明 x 随时间 t 的增加, x 呈上升趋势; $r < 0$, 则相反。 r 的绝对值越大, 说明 x 与时间的关系越密切, 这与 b 所反映的意义是一致的。

显著性检验 要判断变化趋势的程度是否显著, 可以对 b, r 进行显著性检验 (**F 检验与 t 检验**)。

实例

使用线性倾向估计分析华北地区 1951-1995 年夏季干旱指数的变化趋势: 分析代表华北整个区域干旱状况的干旱指数的变化趋势。这里 $n = 45$, x_i 为干旱指数。计算出 $a = 40.76, b = -0.0182$, 相关系数 $r = -0.3395$ 。计算结果表明, 从总体上考察, 该地区夏季干旱指数呈下降趋势, 相关系数 $|r| > r_{0.05} = 0.2875$, 表明这种下降趋势在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平上是显著的。

5.2 滑动平均

5.2.1 方法概述

方法概述 滑动平均是趋势拟合技术最基础的方法，它相当于**低通滤波器**，滤除了高频成分。用确定时间序列的平滑值来显示变化趋势。对**样本量为 n** 的气候序列 x ，其滑动平均序列 \hat{x}_j 表示为：

$$\hat{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \quad (j = 1, 2, \dots, n - k + 1)$$

式中 k 为滑动长度，一般取奇数（如果进行三点滑动平均，最终得到 $n - 2$ 样本量的序列）。

案例

如：对一个 $n = 23$ 的时间序列进行 $k = 3$ 点平滑，则新序列为： $\hat{x}_j = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_{i+j-1} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 21)$ ，
即： $\hat{x}_1 = \frac{1}{3}(x_1 + x_2 + x_3)$, $\hat{x}_2 = \frac{1}{3}(x_2 + x_3 + x_4)$, \dots , $\hat{x}_{21} = \frac{1}{3}(x_{21} + x_{22} + x_{23})$ **等权重**

如果考虑年代际的变化， k 可以取 11 年。除此以外，还可以进行频谱分析。

含义 经过滑动平均后，序列中**短于滑动长度的周期大大削弱**，体现出变化趋势来。但经过这种滑动平均后的新序列比原气候时间序列短，原序列两头的信息不能体现。用这种方法求得的是各个时刻的**趋势值**，而不是具体的数字表达式。

检验 滑动平均后也是一个时间序列，可以正常使用自由度更低的显著性检验方法。

5.2.2 计算步骤

人工计算 n 个数据可以得到 $n - k + 1$ 的平滑值。

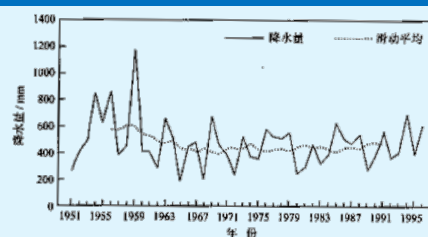
编程计算 先用前 k 个数据求和，得到一个数字；然后依次用这个数字减去平均时段的第一个数字，并加上第 $k + 1$ 个数据，再用求出的值除以 k ；循环这样的过程计算出第 2 个到第 $n - k + 1$ 个平滑值。第一个平滑值就是前 k 个数据的平均值。

5.2.3 计算结果分析

分析方法 主要从**滑动平均序列曲线图**来诊断其变化趋势。例如：看其演变趋势有几次明显的波动，是呈上升还是下降趋势。

实例 1

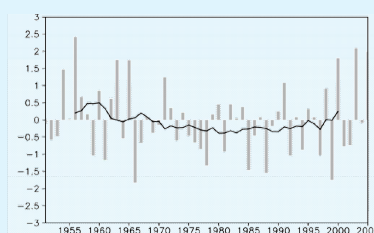
计算北京 1951-1996 年夏季降水量的 11 年滑动平均。样本量 $n = 46$ ，滑动平均后得到 36 个平滑值。图中较光滑的曲线即为滑动平均曲线。可以看出，20 世纪 50 年代中期至 60 年代末，北京夏季降水量呈逐渐下降走势。20 世纪 70 年代初降至低点后变化平缓，处于少雨阶段，并持续到今，虽有小的波动。但没有出现明显的上升或下降趋势。



实例 2

右图是环河流域夏季降水标准化距平及其 11 年平滑图。可以看到明显的年代际变迁，且整体呈现下降趋势。

由于我们损失了 $k - 1$ 个数据，因此滑动平均图两端必然比原有时间序列短。但是，在论文中常常看到补全的行为（用原始值直接衔接），这是错误的做法。这么做可能导致错误的结论推导。



5.3 累积距平

5.3.1 方法概述

方法概述 累积距平是由曲线直观判断变化趋势的方法。对于序列 x_i ，其某一时刻 t 的累积距平表示为：

$$\hat{x}_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad t = 1, 2, \dots, n$$

第一个值为距平值，第二个值为前两个距平值之和，最后一个值为所有距平值之和，必然等于零。

5.3.2 计算步骤

- 第一步 计算出 x 的均值
- 第二步 根据上式逐一计算出各个时刻的累积距平值
- 注意 最后一个累积距平值为 0（全部距平的和）。

x_i	4	3	1	5	7
x_{di}	0	-1	-3	1	3
x_{li}	0	-1	-4	-3	0

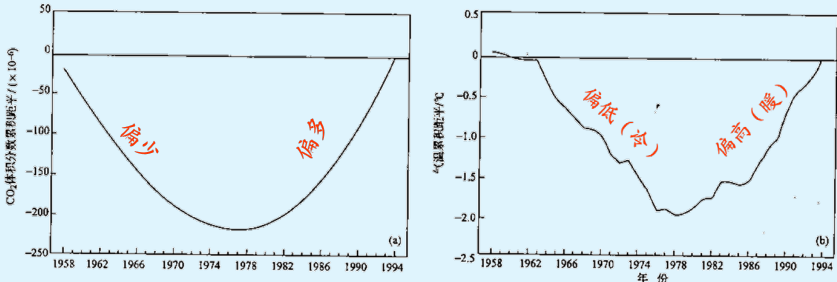
计算实例

5.3.3 计算结果分析

- 分析要点
- ① 累积距平曲线呈上升趋势，表示累积距平值增大（正距平），气候变量以偏多(高)状态为主。
 - ② 呈下降趋势，表示累积距平值减小（负距平），气候变量以偏少(低)状态为主。
 - ③ 从曲线明显的上下起伏，可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化，甚至还可以判断出发生突变的大致时间。从曲线小的波动可以考察其短期的距平值变化。

实例 1

1958-1994 年全球二氧化碳浓度（a）和全球气温（b）的累积距平曲线。



实例 2

西安地区 1951-2000 年降水量的累积距平曲线（左图）表明：1951-1958 年、1980-1984 年曲线趋势上升，亦为降水量偏多。1959-1974 年曲线趋势变化小，降水量基本正常。从 1975-1980 年、1991-2000 年曲线趋势下降，亦为降水量偏少。

