

文章编号: 1000-2022(2002) 06-0795-05

变异函数在降水场空间特征分析中的应用

魏凤英, 曹鸿兴, 徐祥德

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 引进了地统计学中的变异函数, 通过对我国长江流域夏季降水场的计算, 揭示了降水场空间变异特征。结果表明: 变异函数在降水发生前、降水过程中以及降水以后有着十分显著的变化, 东西方向与南北方向上的空间变异性有着不同的特征尺度。

关键词: 降水场; 变异函数; 空间特征

中图分类号: P468.0 **文献标识码:** A

早在 20 世纪 60 年代, 前苏联学者就用普通统计研究空间气象场, 提出了结构函数的概念和理论, 其观点是将气象要素随空间的变化视为一个随机变量, 而没有考虑气象要素空间分布的双重性(结构性与随机性)。另外, 许多学者经常利用等值线的走向、形状来分析空间场的结构, 这是最直接的分析方法, 但不能做定量的分析。一般来说, 对许多灾害性天气气候现象是难以获取大量重复的观测样本的, 这就给使用基于大量观测样本的统计学分析造成困难, 比如, 某一时段某一区域的暴雨过程、高温天气等, 就属于这类变量。对这类问题, 使用地统计(Geostatistics)进行研究是适合的。大气环流遥相关型(如 PNA, WP 等)研究揭示了气象要素大范围的空间结构特征, 实际上这种特征与地统计学中结构性是一致的, 但是遥相关型是用计算点相关系数来获得的, 有时可能会出现零散的奇异点。

地统计学是以具有空间分布特点的区域化变量理论为基础, 研究自然现象的空间变异与空间结构的一门学科^[1]。由于最先在地学领域应用, 故称为地统计学^[2]。地统计学主要由分析空间变异与结构的变异函数及其参数和空间局部估计的克立格(Kriging)法两个主要部分组成, 气象领域的应用目前还仅限于使用克立格法进行降水、温度等要素的最优内插的研究^[3-4]。

本文尝试使用变异函数分析了 1998 年 7 月下旬长江流域强降水过程的空间特征, 初步揭示了有关降水系统空间结构的事实。

1 变异函数及其参数

1.1 区域化变量

设以空间点的三个直角坐标 X_u, X_v, X_w 为自变量的随机场 $Z(X_u, X_v, X_w) = Z(x)$ 是一个

收稿日期: 2002-03-29; 改回日期: 2002-04-29

基金项目: 国家重点基础研究项目“我国重大天气灾害的形成机理和预测理论研究”(G1998040907)

第一作者简介: 魏凤英(1951-), 女, 北京人, 研究员, 主要研究方向: 气候诊断与预测。

区域化变量,它与通常随机变量以时间 t 为自变量是不同的。区域化变量是普通随机变量在某一区域内确定位置上的特定取值,是与位置有关的随机函数。对所研究的对象进行一次观测就可以得到区域化变量 $Z(x)$ 。

假设区域化变量 Z 具有随机性和结构性,那么,在点 x 处的观测值 $Z(x)$ 可以表示为^[1]

$$Z(x) = \mu + \epsilon(x) + \epsilon_0 \quad (1)$$

μ 是区域化变量 Z 的平均值; $\epsilon(x)$ 是空间相关误差,平均值为 0; ϵ 是通常统计学中随机误差。

(1) 式表示区域化变量的空间结构,其变异由 $\epsilon(x)$ 和 ϵ 两部分构成。

1.2 变异函数

变异函数是描述区域化变量随机性和结构性特有的基本手段。设区域化变量 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的观测值($i = 1, 2, \dots, N(h)$), 变异函数可由下式估计^[1]

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

其中,这里 $N(h)$ 是分隔距离为 h 的样本量。变异函数是在假设 $Z(x)$ 为区域化变量且满足平稳条件和本征假设前提下定义的。数学上可以证明,变异函数大时,空间相关性减弱;反之亦然。以 h 为横坐标,以 $r(h)$ 为纵坐标,绘出变异函数曲线图,这些图可以直观地展示区域化变量 $Z(x)$ 的空间变异性。

对于二维区域化变量,根据格点数据,用(2)式分别计算南北、东西、西北—东南及东北—西南 4 个方向或更多方向上的变异函数。在计算西北—东南及东北—西南方向上的变异函数时,分隔距离取对角线的距离 $\sqrt{2}h$ 。图 1 是计算 4 个主要方向变异函数样本数据的构成示意图。

二维区域化变量的变异函数不仅与分隔距离 h 有关,也与方向有关。设 $r(h, \theta)$ 代表区域化变量一个方向的变异函数, $r(h, \theta_2)$ 代表该区域化变量另一个方向的变异函数,两者的比值为^[1]

$$k(h) = r(h, \theta_1) / r(h, \theta_2), \quad (3)$$

等于 1 或接近 1 时则表明空间变异性为各向同性;否则为各向异性。

2 降水场空间结构分析

2.1 资料

1998 年 7 月中旬末,副热带高压南撤东退,强度减弱,长江流域出现了一次强暴雨天气过程。本文研究的区域定在长江流域(102~121 E, 27~33 N) 范围。选取该区域内 87 个测站 1998 年 7 月 17 日至 26 日逐日降水量为基本资料。将降水量采用 Cressman 客观分析技术^[5] 插值到上述范围内的 0.25×0.25 的网格点上。经过空间插值得到的格点上的值代表了某一尺度上的降水量,更便于使用地统计学技术来进行降水场空间结构的分析。

2.2 强降水过程变异函数的主要结构特征

长江流域范围内的 0.25×0.25 网格点降水量构成了一个二维区域化变量。用(2)式分别计算 1998 年 7 月 16 日至 26 日逐日降水量场南北、东西、西北—东南及东北—西南方向上

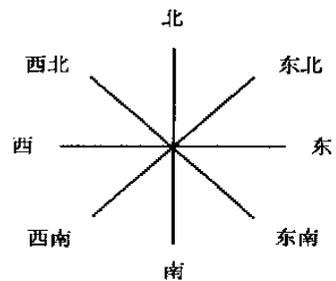


图 1 4 个主要方向样本数据构成示意图
Fig. 1 The diagram of sampled data on four directions

的变异函数。数学上已经证明, 变异函数只有在分隔距离为最大距离的 1/2 之内才有意义。因此, 这里最大分隔距离取为各个方向最大距离 1/2 以内。

图 2 为强降水过程南北方向的变异函数曲线。横坐标是计算变异函数时所取的两格点间距离, 即分隔距离 h , 纵坐标是变异函数值。从图中可以看出, 逐日降水场南北方向的变异函数数值随降水的强弱发生显著变化。在本文研究的 10 d 时段中, 7 月 19 日变异函数值最小, 数值仅在 80 以内, 7 月 22 日变异函数值最大, 数值可达 2 000, 后者约为前者的几十倍, 这说明在降水弱时, 空间相关性强, 随着降水的增强, 降水范围的扩大, 空间相关性会明显减弱。另外, 从变异函数变化曲线看出, 在分隔距离较小时, 变异函数较小, 说明降水系统在小尺度范围内变异程度小, 空间相关性较好, 随着分隔距离的加大, 变异程度亦随之增大, 空间相关性逐渐减

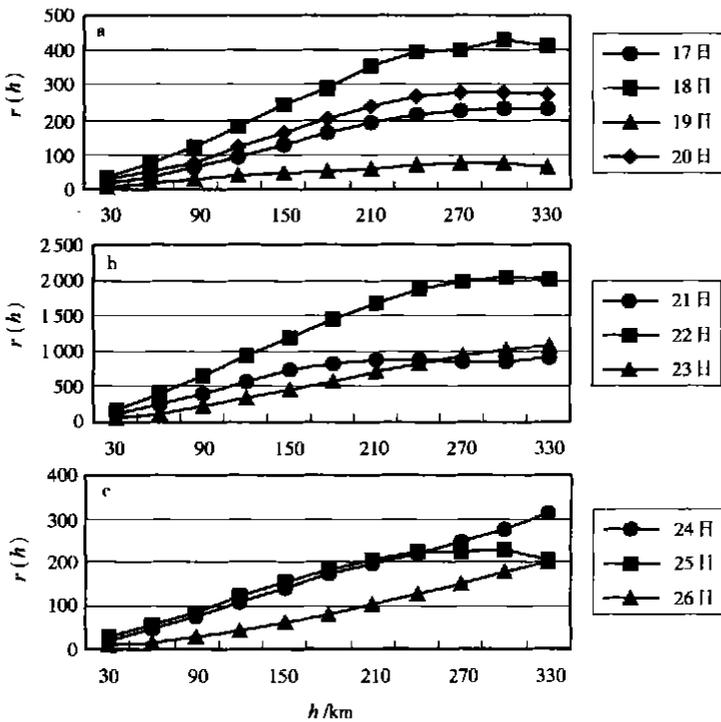


图 2 南北方向上变异函数曲线

Fig. 2 The variograms on south-north direction

弱。这从地统计学角度论证了暴雨的中尺度特征。逐日降水场东西方向上的变异函数值同样随降水的强弱发生变化。19 日变异函数值亦为最小, 数值仅在 60 以下 (图 3a), 22 日变异函数值最大, 在 1 500 左右 (图 3b), 与南北方向相同, 随着分隔距离由小至大, 变异函数也由小变大, 空间相关性逐渐减弱。

西北—东南方向及东北—西南方向上的变异函数表征的随降水强弱而变化的基本特性与南北、东西方向基本一致, 且它们两者的变化也相似。由 19 日、22 日变异函数曲线图 (图 4a、b) 看出, 两个方向的曲线变化形状、数值大小均较一致。特别是 7 月 19 日 (图 4a) 和 7 月 22 日 (图 4b) 两方向的变化亦无显著差异。其余 8 d 的变异函数变化与图 3 大体一致。

2.3 变异函数的各向异性

由 (3) 式计算的两个方向变异函数的比值可以表示空间变异的特性。表 1 中 k_1 为南北方

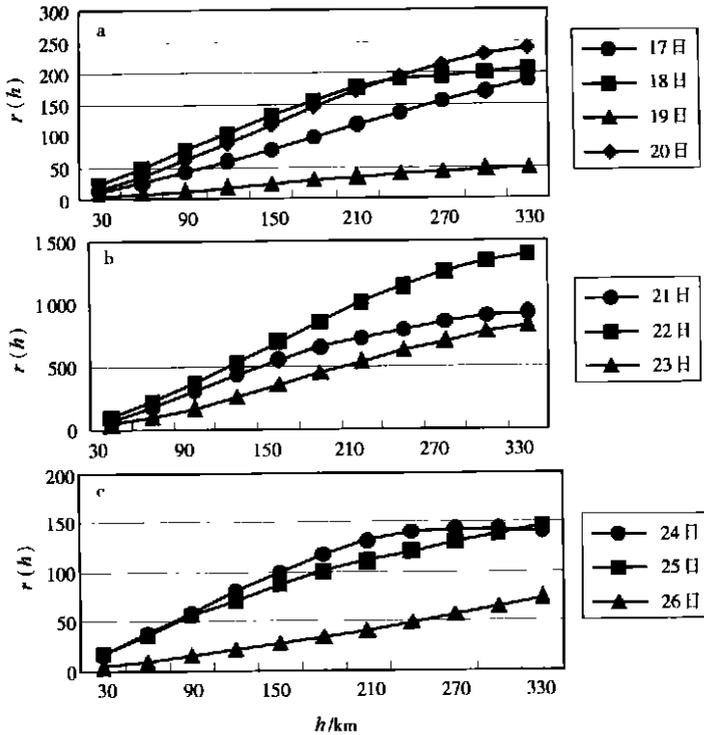


图 3 东西方向上变异函数曲线

Fig. 3 The variograms on east-west direction

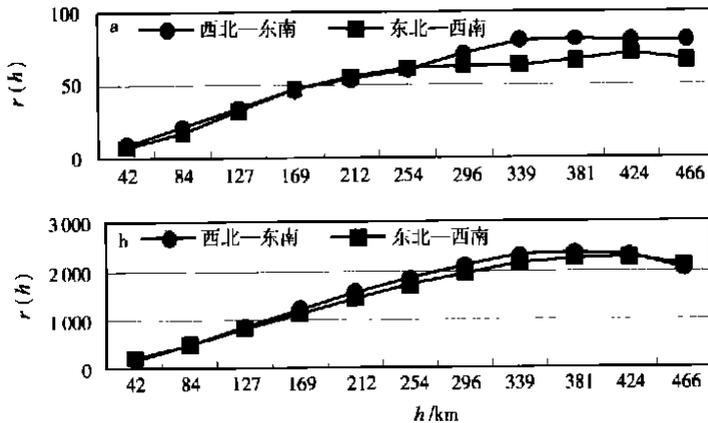


图 4 7月19日(a)和7月22日(b)西北—东南、东北—西南方向变异函数曲线

Fig. 4 The variograms on northwest-southeast and northeast-southwest directions

向与东西方向分隔距离 30 ~ 330 km 平均的变异函数的比值, k_2 表示西北—东南方向与东北—西南方向分隔距离 42 ~ 466 km 平均的变异函数的比值。从表中看出, 10 d 的比值 k_1 均不等于 1, 与有无强降水没有多大关系, 其值在 0.47 ~ 0.86 之间摆动, 表明长江流域降水在南北方向与东西方向的空间分布是各向异性的。降水空间分布呈现出的各向异性可能是降水系统经过地区的地形、地理等条件不同造成的。由表 1 中的 k_2 看出, 除 7 月 17 日、23 日、26 日外, 其余 7 d 西北—东南方向与东北—西南方向变异函数的比值与 1 接近, 表现出各向同性的特

性。上述 3 d 降水场空间分布则为各向异性, 它们所表现出的各向异性主要与降水位置有关。

表 1 不同方向变异函数的比值

Table 1 The specific values of variograms on different directions

	07-17	07-18	07-19	07-20	07-21	07-22	07-23	07-24	07-25	07-26	平均
k_1	0.68	0.54	0.57	0.74	0.86	0.61	0.80	0.68	0.61	0.47	0.66
k_2	0.58	1.07	0.89	0.90	1.14	0.97	0.54	1.02	1.08	1.54	0.97

3 小 结

变异函数为我们研究气象变量场空间结构提供了一种与通常的统计量不同的定量指标, 对长江流域夏季降水场的计算表明, 在降水发生前、降水过程中以及降水以后, 变异函数有显著差异, 其数量可相差数倍。这表明, 变异函数具有表征降水场变化的指示性。对 1998 年 7 月下旬长江流域降水而言, 南北方向与东西方向的空间分布是各向异性的, 而西北—东南方向与东北—西南方向的空间分布则主要表现出各向同性的特性。

需要指出的是, 由于用变异函数仅研究了 1998 年 7 月下旬的长江流域降水场, 显然, 所得结果是十分初步的。但至少表明, 地统计学中的变异函数对研究气象场空间结构是可行的, 值得今后进一步深入研究。

参 考 文 献:

- [1] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. *Economic Geology*, 1963, 58: 1 246-1 266.
- [2] Joarnel A G, Huijbregts C J. *Mining Geostatistics*[M]. London: Academic Press, 1978.
- [3] Prudhomme C, Reed D W. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: A case study in Scotland[J]. *Int J Climatol*, 1999, 19: 1 337-1 356.
- [4] Courault D, Monestiez P. Spatial interpolation of air temperature according to atmospheric circulation patterns in south-east France[J]. *J Climatol*, 1999, 19: 365-378.
- [5] 魏凤英, 曹鸿兴. 我国月降水和气温网格点资料的处理和分析[J]. *气象*, 1994, 20(10): 26-30.

Application of Variograms in Analyzing Spatial Distribution of Precipitation Field

WEI Feng-ying, CAO Hong-xing, XU Xiang-de

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Variograms in geostatistics is introduced into a new study on spatial structure of meteorological field and spatial variation of precipitation fields over the middle and lower reaches of the Yangtze River in summer. The results show that the variograms before, during and after raining varies obviously and the range of spatial variation between east-west and south-north directions is also different.

Key words: precipitation field; variograms; spatial structure